

Jahel Sarvia Ledezma Pérez

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE PAVIMENTOS
FLEXÍVEIS DOS SEGMENTOS MONITORADOS DE URUBICI
E ITAPOÁ**

Dissertação submetida ao Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil,
da Universidade Federal de Santa
Catarina, como parte dos requisitos para
obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Glicério Trichês.

Florianópolis - SC
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC,

Ledezma Pérez, Jahel Sarvia

Avaliação do desempenho de pavimentos flexíveis dos
segmentos monitorados de Urubici e Itapoá / Jahel Sarvia
Ledezma Pérez ; orientador, Glicério Trichês -
Florianópolis, SC, 2016.
333 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. Segmentos monitorados. 3.
Previsão de desempenho. 4. Pavimentação. 5. Materiais. I.
Trichês, Glicério. II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
III. Título.

Jahel Sarvia Ledezma Pérez

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE PAVIMENTOS
FLEXÍVEIS DOS SEGMENTOS MONITORADOS DE URUBICI
E ITAPOÁ**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre em Engenharia Civil”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Florianópolis, 17 de outubro de 2016.

Prof. Glicério Trichês, Dr.
Coordenador do Curso

Prof. Glicério Trichês, Dr.
Orientador

Banca Examinadora:

Prof. Jorge Augusto Pereira Ceratti, Dr.
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

Prof. Luciano Pivoto Specht, Dr.
Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

Prof.^a Liseane Padilha Thives, Dr.^a
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Dedico este trabalho com muito amor
à minha família e aos meus amigos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela presença constante e pela vida das pessoas especiais que me cercam.

Ao meu irmão Job, quem foi o pilar fundamental nesta caminhada. Obrigada pela dedicação, paciência, apoio e amizade constante em todos os momentos da minha vida.

À minha mãe por todo amor e carinho a mim dedicados. Por estar sempre me apoiando para não desistir diante das dificuldades.

Ao meu orientador Prof. Glicério Trichês, pela amizade, apoio e orientações ao longo do trabalho.

Aos meus colegas do laboratório: Carlos Quintero, Adosindro, Vanesa, Jaqueline, Matheus, Gabi, Manu, Keyla, Lúdia e Zé Marcos. Agradeço por sempre estarem prontos a me auxiliar, pela ajuda que prestaram na execução dos ensaios laboratoriais e pelos momentos agradáveis vividos.

Um agradecimento especial a Cheche, Denise e Alana, pelos grandes momentos de alegria e desespero compartilhados, cuja força e ajuda me serviram para continuar sempre para frente.

À Professora Dr^a. Liseane Padilha Thives, ao Professor Dr. Jorge Augusto Pereira Ceratti e ao Professor Dr. Luciano Pivoto Specht por disporem do seu valioso tempo para participarem da banca examinadora, e contribuírem na melhoria da minha dissertação.

Ao Programa Estudantes-Convênio de Pós-Graduação - PEC-PG do Conselho de Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq) Brasil, pela bolsa de estudos outorgada a minha pessoa para a realização dos estudos de mestrado.

À Rede Temática de Tecnologia do Asfalto pelos investimentos feitos no Laboratório de Pavimentação da UFSC.

“A maior recompensa para o trabalho do homem não é que ele ganha com isso, mas o que ele se torna com isso.”

(John Ruskin)

RESUMO

Com o objetivo de desenvolver um novo método brasileiro de dimensionamento de pavimentos flexíveis, a Rede Temática de Tecnologia do Asfalto, com o patrocínio da PETROBRAS, vem conduzindo um projeto que pretende conhecer melhor os materiais e o desempenho de pavimentos flexíveis, através do monitoramento de segmentos localizados em diversas regiões no Brasil. Neste contexto, a presente pesquisa tem como objetivo avaliar o desempenho três segmentos inseridos na rodovia SC-370 no município de Urubici e um segmento inserido na rodovia SC-416 no município de Itapoá, todos eles no estado de Santa Catarina. Foram realizados, em períodos pré-determinados, ensaios de macro e microtextura, Irregularidade longitudinal (IRI), Afundamento em Trilha de Roda, Levantamento Visual de Defeitos, Levantamento de Bacia de Deflexões através da Viga Benkelman e Falling Weight Deflectometer (FWD) e atrito com o Grip Tester. Além destas avaliações, foi realizada a contagem quantitativa e classificatória dos veículos que trafegam nos segmentos. As misturas de concreto asfáltico aplicadas em campo foram reproduzidas em laboratório para a análise das propriedades mecânicas e de desempenho do revestimento asfáltico. Elas foram elaboradas conforme o projeto de dosagem detalhados nos relatórios *As Built* das obras. Foram realizados ensaios de resistência ao dano por umidade induzida, deformação permanente no simulador de tráfego francês (LCPC), módulo complexo e resistência à fadiga no aparato quatro pontos. Nos segmentos de Urubici foram retiradas placas de campo para a realização de ensaio de deformação permanente e fadiga. Fez-se a estimativa da vida útil do pavimento dos segmentos monitorados, baseado nos ensaios de fadiga, com o apoio dos softwares AEMC/Sispav (análise elástico) e Viscoroute (análise viscoelástico). Após 4 anos de abertura ao tráfego, os segmentos de Urubici apenas apresentam trincamentos com grau de severidade baixo e a estimativa da fadiga do pavimento supera ao período de projeto. O segmento monitorado de Itapoá apresentou prematuramente maior quantidade de defeitos, atingindo sua vida útil no terceiro ano de abertura ao tráfego. Da avaliação estrutural, observou-se que a espessura de revestimento executada não atende à solicitação do tráfego.

Palavras-chave: Segmentos monitorados; previsão de desempenho; pavimentação; materiais.

ABSTRACT

Aiming to develop a new method of pavement design, the Thematic Network of Asphalt Technology supported by PETROBRAS, has been carrying out a study focused on the analysis of materials and performance of flexible pavements using monitored segments located in different regions in Brazil. In this context, the present study aims to evaluate the performance of three segments of highway SC-370 belonging to the municipality of Urubici and one segment of highway SC-416 that belongs to the municipality of Itapoá, all of them in the state of Santa Catarina. For this study, several tests of macro and microtexture, International Roughness Index (IRI), rutting, visual inspection of distressed surfaces and deflection basin tests based on Benkelman beam and Falling Weight Deflectometer (FWD) and friction with Grip Tester were performed at predefined periods. Additionally, a quantitative and classificatory counting of the mixed stream of traffic through these segments were performed. The asphalt concrete mixtures were reproduced in the laboratory in order to analyze the mechanical properties of the asphalt coating. The mixtures were prepared according to the dosage project detailed in the “As Built” report of the construction. Thus, several tests were performed including a resistance test for moisture-induced damage, a permanent deformation test using the French traffic simulator (LCPC), and a complex modulus calculation and resistance to fatigue test based on the four point bending apparatus. Additionally, an estimated service life of the pavement of each monitored segment was calculated based on bending tests and supported by the softwares AEMC/Sispav (elastic analysis) and ViscoRoute (viscoelastic analysis). The Urubici segment only presents cracking with low degree of severity and the service life estimation based on fatigue analysis overcomes the project period. The monitored segment Itapoá presented higher number of defects early, reaching its service life in the third year of opening to traffic. From the structural evaluation, it was observed that the executed coating thickness does not meet the required traffic.

Keywords: Monitored segments of pavements; performance prediction; paving analysis and design.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Fases da vida de um pavimento.	49
Figura 2.2 – Deformações no pavimento.	50
Figura 2.3 – Fator de correção da deflexão em função da temperatura do revestimento asfáltico.	52
Figura 2.4 – Deformações permanentes em pavimentos asfálticos.	55
Figura 2.5 – Equipamento <i>Orniéreur</i>	57
Figura 2.6 – Tensão (σ_0) e a deformação correspondente (ϵ_0) com o ângulo de fase (ϕ).	58
Figura 2.7 – Representação do módulo complexo em curvas isotérmicas.	62
Figura 2.8 – Representação do módulo complexo em curvas isotérmicas.	62
Figura 2.9 – Módulo complexo representado no espaço Black.	63
Figura 2.10 – Módulo complexo no plano Cole-Cole.	64
Figura 2.11 – Curva de equivalência Frequência-Temperatura.	65
Figura 2.12 – Translação gráfica de curvas isotérmicas.	66
Figura 2.13 – Sinal da deformação longitudinal e transversal na fibra inferior da camada de concreto asfáltico.	68
Figura 2.14 – Formas de carregamentos utilizadas em ensaios de fadiga.	69
Figura 2.15 – Diferentes tipos de ensaios de fadiga.	70
Figura 2.16 – Curva tensão - deformação de materiais viscoelásticos.	72
Figura 2.17 – Localização dos segmentos monitorados, segundo a região geológica em Santa Catarina.	79
Figura 3.1 – Esquema do método da pesquisa.	88
Figura 3.2 – Esquema da Etapa 1 do método da pesquisa.	89
Figura 3.3 – Esquema da Etapa 2 do método da pesquisa.	90
Figura 3.4 – Esquema da Etapa 3 do método da pesquisa.	92
Figura 3.5 – Esquema da Etapa 4 do método da pesquisa.	94
Figura 3.6 – Compactador giratório IPC Global Servopac.	95
Figura 3.7 – Mesa compactadora LCPC.	97
Figura 3.8 – Pontos de leituras das deformações na placa.	98
Figura 3.9 – (a) Câmara de controle de temperatura e aquisição de dados (b) aparato de flexão em 4 pontos no interior da câmara de controle de temperatura.	100
Figura 3.10 – Configuração de carregamento para o ensaio de fadiga a quatro pontos.	100
Figura 3.11 – Esquema da Etapa 5 do método da pesquisa.	102
Figura 3.12 – Levantamento de defeitos e medida de trilha de roda (agosto 2012) segmentos monitorados de Urubici.	103
Figura 3.13 – Levantamento de defeitos e medida de trilha de roda (Julho 2012) segmento monitorado de Itapoá (apenas foram cadastradas segregações).	103
Figura 3.14 – Levantamento da medida do IRI com o perfilômetro a laser e medida do atrito com o <i>Grip Tester</i> (ano 2014) segmentos monitorados de Urubici e Itapoá.	104

Figura 3.15 – Levantamento de defeitos, medida de trilha de roda, medida da microtextura e macrotextura (ano 2015) segmentos monitorados de Urubici.	104
Figura 3.16 – Levantamento de defeitos e medida de trilha de roda (ano 2015) segmento monitorado de Itapoá.	105
Figura 3.17 – Levantamento de defeitos, medida de trilha de roda (ano 2016) segmentos monitorados de Urubici.	105
Figura 3.18 – Levantamento de defeitos, medida de trilha de roda (ano 2016) segmento monitorado de Itapoá.	106
Figura 3.19 – Contagem de tráfego (ano 2016).	106
Figura 3.20 – Demarcação e medição dos defeitos – segmentos monitorados de Urubici e Itapoá.	107
Figura 3.21 – Medida de trilha de roda – segmentos monitorados de Urubici e Itapoá.	108
Figura 3.22 – Perfilômetro a Laser (COPPETEC/UFRJ).	108
Figura 3.23 – Posição e distância entre os sensores do perfilômetro.	109
Figura 3.24 – Aparelhos para medir a macrotextura.	110
Figura 3.25 – Execução do ensaio com o Pêndulo Britânico.	111
Figura 3.26 – Emprego do <i>Grip Tester</i> para a avaliação da microtextura.	112
Figura 3.27 – Equipamento FWD utilizado no levantamento deflectométrico dos segmentos monitorados de Urubici e Itapoá.	113
Figura 3.28 – Esquema da Etapa 6 do método da pesquisa.	116
Figura 3.29 – Esquema da Etapa 7 do método da pesquisa.	117
Figura 4.1 – Localização dos segmentos monitorados de Urubici.	119
Figura 4.2 – Esquema de localização dos segmentos monitorados de Urubici.	120
Figura 4.3 – Estrutura do pavimento executado no segmento monitorado 1.	121
Figura 4.4 – Estrutura do pavimento executado no segmento monitorado 2.	121
Figura 4.5 – Estrutura do pavimento executado no segmento monitorado 3.	122
Figura 4.6 – Localização do segmento monitorado de Itapoá.	124
Figura 4.7 – Esquema de localização do segmento monitorado de Itapoá.	125
Figura 4.8 – Estrutura do pavimento executado no segmento monitorado de Itapoá.	125
Figura 4.9 – Execução da camada final de terraplenagem.	128
Figura 4.10 – Medida da deflexão com a viga Benkelman na camada de sub-base.	128
Figura 4.11 – Medida da deflexão e bacia de deflexão na camada base.	128
Figura 4.12 – Camada de revestimento em execução.	129
Figura 4.13 – Levantamento da bacia de deflexão na camada de revestimento.	129
Figura 4.14 – Amostras coletadas, corpos de prova moldados e extraídos e processo de extração de placas do revestimento asfáltico.	130
Figura 4.15 – Curva granulométrica da mistura asfalto-borracha e mistura CAP 50/70 dos segmentos monitorados de Urubici.	136
Figura 4.16 – Controle deflectométrico segmento monitorado 1 - Faixa direita.	140

Figura 4.17 – Controle deflectométrico, segmento monitorado 1 - Faixa esquerda.....	140
Figura 4.18 – Controle deflectométrico, segmento monitorado 2 - Faixa direita.....	141
Figura 4.19 – Controle deflectométrico, segmento monitorado 2 - Faixa esquerda.....	141
Figura 4.20 – Controle deflectométrico, segmento monitorado 3 - Faixa direita.....	142
Figura 4.21 – Controle deflectométrico, segmento monitorado 3 - Faixa esquerda.....	142
Figura 4.22 – Aspecto da condição de umidade elevada da camada de aterro que recebeu a camada de rocha detonada.....	144
Figura 4.23 – Execução da camada de rocha detonada.....	144
Figura 4.24 – Espalhamento da camada em rocha detonada.....	145
Figura 4.25 – Travamento da camada de rocha detonada.....	146
Figura 4.26 – Curva granulométrica da mistura asfalto-borracha, segmento monitorado de Itapoá.....	149
Figura 4.27 – Controle deflectométrico - Faixa direita.....	152
Figura 4.28 – Controle deflectométrico - Faixa esquerda.....	152
Figura 4.29 – Módulo resiliente do solo de fundação - Amostra 1.....	154
Figura 4.30 – Módulo resiliente do solo de fundação - Amostra 2.....	154
Figura 4.31 – Módulo resiliente do solo de fundação - Amostra 3.....	154
Figura 4.32 – Resistência à tração dos corpos submetidos ao ensaio de DUI.....	158
Figura 4.33 – Relação percentual RTu/RT.....	159
Figura 4.34 – Compactação das placas para o ensaio de deformação permanente (50x18x5) e fadiga (60x40x9).....	160
Figura 4.35 – Corpos de prova prismáticos obtidos após serragem das placas.....	161
Figura 4.36 – Medição do afundamento de trilha de roda no simulador de tráfego <i>Orniéreur</i>	163
Figura 4.37 – Placas após o ensaio de deformação permanente - segmentos monitorados de Urubici e Itapoá.....	163
Figura 4.38 – Curva número de ciclos x deformação das misturas asfalto-borracha e convencional CAP 50/70, segmentos monitorados de Urubici.....	164
Figura 4.39 – Placas extraídas e retificadas para o ensaio de deformação permanente - segmento monitorado 3.....	166
Figura 4.40 – Retificação de altura dos corpos de prova com camada de argamassa para o ensaio de deformação permanente.....	168
Figura 4.41 – Curva número de ciclos x deformação mistura asfalto borracha - segmentos monitorados 1 e 2.....	169
Figura 4.42 – Curva Número de ciclos x deformação mistura asfalto convencional CAP 50/70 - segmento monitorado 3.....	169
Figura 4.43 – Plano complexo (Cole-Cole) da mistura com asfalto-borracha do segmento de Urubici.....	175

Figura 4.44 – Plano complexo (Cole-Cole) da mistura com asfalto convencional CAP 50/70 do segmento de Urubici.	175
Figura 4.45 – Plano complexo (Cole-Cole) da mistura com asfalto-borracha do segmento de Itapoá.	176
Figura 4.46 – Comparação das curvas isotérmicas da mistura asfalto-borracha e asfalto convencional CAP 50/70 dos segmentos de Urubici.	177
Figura 4.47 – Comparação das curvas isotérmicas da mistura asfalto-borracha dos segmentos de Urubici e Itapoá.	178
Figura 4.48 – Comparação das curvas de equivalência da mistura asfalto-borracha e asfalto convencional CAP 50/70 dos segmentos de Urubici.	179
Figura 4.49 – Comparação das curvas de equivalência da mistura asfalto-borracha dos segmentos de Urubici e Itapoá.	180
Figura 4.50 – Comparação das curvas isócronas da mistura com asfalto-borracha e asfalto convencional CAP 50/70 dos segmentos de Urubici.	181
Figura 4.51 – Comparação das curvas isócronas da mistura asfalto-borracha dos segmentos de Urubici e Itapoá.	182
Figura 4.52 – Comparação do espaço de Black da mistura com asfalto-borracha e asfalto convencional CAP 50/70 dos segmentos de Urubici.	183
Figura 4.53 – Comparação do espaço de Black da mistura asfalto-borracha dos segmentos de Urubici e Itapoá.	184
Figura 4.54 – Curva de fadiga da mistura com asfalto convencional CAP 50/70 e asfalto-borracha dos segmentos de Urubici (temperatura de 20°C e frequência de 10Hz).	187
Figura 4.55 – Curva de fadiga da mistura da mistura asfalto-borracha dos segmentos de Urubici e Itapoá (temperatura de 20°C e frequência de 10Hz). ..	188
Figura 4.56 – Corpos de prova serrados para o ensaio de fadiga.	189
Figura 4.57 – Comparação das curvas de fadiga de campo e laboratório da mistura asfalto-borracha dos segmentos monitorados 1 e 2 Urubici.	191
Figura 4.58 – Comparação das curvas de fadiga de campo e laboratório das misturas asfalto-borracha do segmento de Urubici e Itapoá.	193
Figura 4.59 – Comparação da distribuição do VMDA projetado e do VMDA calculado para o ano 2016 - segmentos monitorados de Urubici.	195
Figura 4.60 – Comparação do tráfego de contêineres projetado na implantação e os movimentados atualmente, no segmento monitorado de Itapoá.	198
Figura 4.61 – Comparação da distribuição do VMDA projetado e do VMDA calculado para o ano 2016 - segmento de Itapoá.	199
Figura 4.62 – Evolução de defeitos por faixas - segmento monitorado 1 (mistura asfalto-borracha).	200
Figura 4.63 – Evolução de defeitos na pista de rolamento - segmento monitorado 1 (mistura asfalto-borracha).	200
Figura 4.64 – Evolução de defeitos da faixa direita - segmento monitorado 2 (mistura asfalto-borracha).	201
Figura 4.65 – Evolução de defeitos por faixas - segmento monitorado 3 (mistura convencional CAP 50/70).	202

Figura 4.66 – Evolução de defeitos na pista de rolamento - segmento monitorado 3 (mistura convencional CAP 50/70).	202
Figura 4.67 – Comparação da evolução da área trincada em relação aos modelos de desempenho.	203
Figura 4.68 – Evolução do IGG – segmento monitorado 1 (mistura asfalto-borracha).	204
Figura 4.69 – Evolução do IGG – segmento monitorado 2 (mistura asfalto-borracha).	204
Figura 4.70 – Evolução do IGG – segmento monitorado 3 (mistura convencional CAP 50/70).	204
Figura 4.71 – Comparação da evolução do IGG em relação aos modelos de desempenho.	205
Figura 4.72 – Comparativo de afundamento de trilha de roda faixa direita - segmento monitorado 1 (mistura asfalto-borracha).	206
Figura 4.73 – Comparativo de afundamento de trilha de roda faixa esquerda - segmento monitorado 1 (mistura asfalto-borracha).	206
Figura 4.74 – Comparativo de afundamento de trilha de roda faixa direita - segmento monitorado 2 (mistura asfalto-borracha).	207
Figura 4.75 – Comparativo de afundamento de trilha de roda faixa esquerda - segmento monitorado 2 (mistura asfalto-borracha).	207
Figura 4.76 – Comparativo de afundamento de trilha de roda faixa direita, segmento monitorado 3 (mistura convencional CAP 50/70).	208
Figura 4.77 – Comparativo de afundamento de trilha de roda faixa esquerda, segmento monitorado 3 (mistura convencional CAP 50/70).	208
Figura 4.78 – Comparação da evolução do afundamento de trilha de roda em relação dos modelos de desempenho.	210
Figura 4.79 – Irregularidade longitudinal (2014).	211
Figura 4.80 – Comparação dos valores de macrotextura - segmento monitorado 1 (mistura asfalto-borracha).	212
Figura 4.81 – Comparação dos valores de macrotextura - segmento monitorado 2 (mistura asfalto-borracha).	212
Figura 4.82 – Comparação dos valores de macrotextura - segmento monitorado 3 (mistura convencional CAP 50/70).	212
Figura 4.83 – Comparação de valores de microtextura (2015) - segmentos monitorados de Urubici.	213
Figura 4.84 – Comparação de valores de microtextura obtidos com o <i>Grip Tester</i> (2014) - segmentos monitorados de Urubici.	214
Figura 4.85 – Comparação de deflexões do revestimento - faixa direita segmento monitorado 1 (mistura asfalto-borracha).	215
Figura 4.86 – Variação das deflexões no revestimento - faixa esquerda segmento monitorado 1 (mistura asfalto-borracha).	216
Figura 4.87 – Variação das deflexões no revestimento - faixa direita segmento monitorado 2 (mistura asfalto-borracha).	216
Figura 4.88 – Variação das deflexões no revestimento - faixa esquerda segmento monitorado 2 (mistura asfalto-borracha).	217

Figura 4.89 – Variação das deflexões no revestimento - faixa direita segmento monitorado 3 (mistura convencional CAP 50/70).	217
Figura 4.90 – Variação das deflexões no revestimento – faixa esquerda segmento monitorado 3 (mistura convencional CAP 50/70).	218
Figura 4.91 – Comparação da evolução da deflexão do revestimento em relação dos modelos de desempenho.	220
Figura 4.92 – Evolução de defeitos - faixa direita (sentido Garuva-Itapoá).	223
Figura 4.93 – Evolução de defeitos - faixa esquerda (sentido Itapoá-Garuva).	223
Figura 4.94 – Evolução de defeitos na pista de rolamento.	224
Figura 4.95 – Comparação da evolução da área trincada em relação dos modelos calibrados no Brasil.	224
Figura 4.96 – Evolução do IGG.	225
Figura 4.97 – Comparação da evolução do IGG em relação ao modelo proposto por Marcon (1996).	226
Figura 4.98 – Comparativo de afundamento de trilha de roda faixa direita (sentido Garuva-Itapoá).	227
Figura 4.99 – Comparativo de afundamento de trilha de roda faixa esquerda (sentido Itapoá-Garuva).	227
Figura 4.100 – Comparação da evolução do afundamento de trilha de roda em relação dos modelos de desempenho.	228
Figura 4.101 – Irregularidade longitudinal (2014).	229
Figura 4.102 – Comparação de valores de macrotextura.	229
Figura 4.103 – Valores de microtextura (2014).	230
Figura 4.104 – Valores de microtextura obtidos com o <i>Grip Tester</i> (2014).	231
Figura 4.105 – Comparação de deflexões no revestimento faixa direita.	232
Figura 4.106 – Comparação de deflexões do revestimento faixa esquerda.	232
Figura 4.107 – Comparação da evolução da deflexão em relação dos modelos de desempenho.	233
Figura 4.108 – Representação da mistura asfalto-borracha do segmento monitorado de Urubici no modelo Huet-Sayegh.	236
Figura 4.109 – Representação da mistura convencional CAP 50/70 do segmento monitorado de Urubici no modelo Huet-Sayegh.	236
Figura 4.110 – Representação da mistura asfalto-borracha do segmento monitorado de Itapoá no modelo Huet-Sayegh.	237
Figura 4.111 – Estimativa da vida útil dos segmentos monitorados de Urubici considerando a análise elástica linear e viscoelástica.	241
Figura 4.112 – Comparação da estimativa da vida útil do segmento monitorado de Itapoá, considerando a análise elástica linear e viscoelástica.	241

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Conceitos de degradação do pavimento em função do IGG.	44
Quadro 2.2 – Condições de Superfície do Pavimento.....	46
Quadro 2.3 – Correlações entre FWD e VB para pavimentos Catarinenses.	51
Quadro 2.4 – Fatores que afetam resistência à deformação permanente de misturas betuminosas.....	56
Quadro 3.5 – Classes de macrotextura pelo método da Mancha de Areia.	110
Quadro 3.6 – Classes de microtextura pelo método do Pêndulo Britânico.	111
Quadro 3.7 – Parâmetros do coeficiente de atrito utilizando o <i>Grip Tester</i>	112
Quadro 3.8 – Coeficiente de Poisson adotado para o retroanálise.	114
Quadro 4.1 – Crescimento do $N_{8,2tf}$ para o ano de abertura ao tráfego em 2004.	122
Quadro 4.2 – Fator de equivalência de Veículo (Fvi).	123
Quadro 4.3 – Crescimento do $N_{8,2tf}$ para o ano de abertura ao tráfego em 2012.	123
Quadro 4.4 – Crescimento do $N_{8,2tf}$ para o ano de abertura ao tráfego em 2004.	126
Quadro 4.5 – Crescimento do $N_{8,2tf}$ para o ano de abertura ao tráfego em 2012.	127
Quadro 4.6 – Caracterização geotécnica do subleito.	130
Quadro 4.7 – Características da base de brita graduada.....	131
Quadro 4.8 – Caracterização do CAP 50/70.	132
Quadro 4.9 – Caracterização do CAPFLEX-B.	132
Quadro 4.10 – Características do CAUQ massa fina.	133
Quadro 4.11 – Parâmetros físicos e volumétricos do CAUQ com asfalto - borracha.	134
Quadro 4.12 – Faixa granulométrica da mistura convencional CAP 50/70. ...	135
Quadro 4.13 – Características da mistura asfáltica convencional CAP 50/70.	135
Quadro 4.14 – Controle da camada de regularização do subleito.	137
Quadro 4.15 – Controle tecnológico da camada base.	138
Quadro 4.16 – Controle tecnológico da camada de revestimento.	139
Quadro 4.17 – Deflexões obtidas com a viga Benkelman - segmento monitorado 1.	141
Quadro 4.18 – Deflexões obtidas com a viga Benkelman - segmento monitorado 2.	142
Quadro 4.19 – Deflexões obtidas com a viga Benkelman - segmento monitorado 3.	143
Quadro 4.20 – Caracterização geotécnica do subleito.	145
Quadro 4.21 – Características do agregado empregado na camada de base. ..	147
Quadro 4.22 – Parâmetros físicos e volumétricos do CAUQ asfalto-borracha.	148
Quadro 4.23 – Controle do subleito do segmento monitorado de Itapoá.	150
Quadro 4.24 – Controle tecnológico da camada base do segmento monitorado de Itapoá.	151

Quadro 4.25 – Controle tecnológico da espessura e do grau de compactação.	151
Quadro 4.26 – Deflexões obtidas com a viga Benkelman - segmento monitorado de Itapoá.	153
Quadro 4.27 – Resultado dos ensaios de módulo de resiliência da mistura asfalto-borracha dos corpos extraídos em campo.	155
Quadro 4.28 – Resultado dos ensaios de módulo de resiliência da mistura asfáltica convencional CAP 50/70 dos corpos extraídos em campo.	156
Quadro 4.29 – Resultado do ensaio de módulo de resiliência da mistura	157
Quadro 4.30 – Volume de vazios das placas de deformação permanente.	160
Quadro 4.31 – Porcentagem do volume de vazios dos corpos de prova prismáticos - segmentos monitorados de Urubici e Itapoá.	162
Quadro 4.32 – Resultado do ensaio de deformação permanente.	164
Quadro 4.33 – Resumo de dados da massa específica - segmento monitorado 2 (mistura asfalto-borracha).	166
Quadro 4.34 – Resumo de dados da massa específica - segmento monitorado 3 (mistura asfalto convencional CAP 50/70).	167
Quadro 4.35 – Resumo dos resultados do ensaio de deformação permanente - segmentos monitorados 2 e 3 (placas extraídas de campo).	170
Quadro 4.36 – Resultado do ensaio de módulo complexo, mistura asfalto-borracha dos segmentos monitorados 1 e 2 de Urubici.	172
Quadro 4.37 – Resultado do ensaio de módulo complexo, mistura convencional CAP 50/70 do segmento monitorado 3 de Urubici.	173
Quadro 4.38 – Resultado do ensaio de módulo complexo, mistura asfalto-borracha, do segmento monitorado de Itapoá.	174
Quadro 4.39 – Constantes da equação de WLF das misturas dos segmentos monitorados de Urubici e Itapoá.	178
Quadro 4.40 – Resultado do ensaio de fadiga da mistura asfalto-borracha dos segmentos monitorados 1 e 2 de Urubici.	185
Quadro 4.41 – Resultado do ensaio de fadiga da mistura convencional CAP 50/70 do segmento monitorado 3 de Urubici.	185
Quadro 4.42 – Resultado do ensaio de fadiga da mistura asfalto-borracha do segmento monitorado de Itapoá.	186
Quadro 4.43 – Resumo dos valores dos modelos de fadiga ($N = a \times \epsilon_t^b$) obtidos para as misturas asfálticas dos segmentos em estudo.	189
Quadro 4.44 – Resultados da caracterização do comportamento à fadiga de mistura asfalto-borracha dos segmentos monitorados 1 e 2 Urubici.	190
Quadro 4.45 – Resumo dos valores dos modelos de fadiga ($N = a \times \epsilon_t^b$) de campo e laboratório obtidos para a mistura asfalto-borracha dos segmentos monitorados de Urubici.	192
Quadro 4.46 – Fator de equivalência de Veículo (Fvi) - Urubici.	194
Quadro 4.47 – Crescimento do $N_{8,2tf}$ atualizado a partir da contagem de tráfego no ano 2016 - segmentos monitorados de Urubici.	195
Quadro 4.48 – Fator de equivalência de Veículo (Fvi) - Itapoá.	197
Quadro 4.49 – Crescimento do $N_{8,2tf}$ atualizado a partir da contagem de tráfego no ano 2016 – segmento monitorado Itapoá.	197

Quadro 4.50 – Evolução da deflexão do revestimento.....	219
Quadro 4.51 – Módulos de elasticidade estimados por retroanálise.	221
Quadro 4.52 – Evolução da deflexão do revestimento.....	233
Quadro 4.53 – Módulos de elasticidade estimados por retroanálise.	234
Quadro 4.54 – Parâmetros do modelo de Huet-Sayegh.	235
Quadro 4.55 – Módulos estimados das camadas elásticas da estrutura do pavimento dos segmentos monitorados de Urubici e Itapoá.....	237
Quadro 4.56 – Estimativa de vida útil da camada de revestimento asfáltico dos segmentos monitorados de Urubici e Itapoá - análise elástica linear.	238
Quadro 4.57 – Estimativa de vida útil da camada de revestimento asfáltico dos segmentos monitorados de Urubici e Itapoá - análise viscoelástica.....	240
Quadro A.1. – Contagem volumétrica do tráfego SC-370.	259
Quadro A.2 – Contagem volumétrica do tráfego SC-370.	260
Quadro A.3 – Contagem volumétrica do tráfego SC-370.	261
Quadro A.4 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2012 - segmento monitorado 1 – Faixa Direita.	262
Quadro A.5 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2012 - segmento monitorado 1 – Faixa Esquerda.	263
Quadro A.6 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2012 - segmento monitorado 2 – Faixa Direita.	264
Quadro A.7 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2012 - segmento monitorado 2 – Faixa Esquerda.	265
Quadro A.8 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2012 - segmento monitorado 3 – Faixa Direita.	266
Quadro A.9 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2012 - segmento monitorado 3 – Faixa Esquerda.	267
Quadro A.10 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2015 - segmento monitorado 1 – Faixa Direita.	268
Quadro A.11 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2015 - segmento monitorado 1 – Faixa Esquerda.	269
Quadro A.12 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2015 - segmento monitorado 2 – Faixa Direita.	270
Quadro A.13 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2015 - segmento monitorado 2 – Faixa Esquerda.	271
Quadro A.14 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2015 - segmento monitorado 3 – Faixa Direita.	272
Quadro A.15 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2015 - segmento monitorado 3 – Faixa Esquerda.	273
Quadro A.16 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2016 - segmento monitorado 1 – Faixa Direita.	274
Quadro A.17 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2016 - segmento monitorado 1 – Faixa Esquerda.	275
Quadro A.18 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2016 - segmento monitorado 2 – Faixa Direita.	276

Quadro A.19 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2016 - segmento monitorado 2 – Faixa Esquerda.	277
Quadro A.20 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2016 - segmento monitorado 3 – Faixa Direita.	278
Quadro A.21 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2016 - segmento monitorado 3 – Faixa Esquerda.	279
Quadro A.22 – Planilha do cálculo do IGG (2012) - segmento monitorado 1 Urubici - Faixa Direita.	280
Quadro A.23 – Planilha do cálculo do IGG (2012) - segmento monitorado 1 Urubici - Faixa Esquerda.	280
Quadro A.24 – Planilha do cálculo do IGG (2012) - segmento monitorado 2 Urubici - Faixa Direita.	281
Quadro A.25 – Planilha do cálculo do IGG (2012) - segmento monitorado 2 Urubici - Faixa Esquerda.	281
Quadro A.26 – Planilha do cálculo do IGG (2012) - segmento monitorado 3 Urubici - Faixa Direita.	282
Quadro A.27 – Planilha do cálculo do IGG (2012) – segmento monitorado 3 Urubici – Faixa Esquerda.	282
Quadro A.28 – Planilha do cálculo do IGG (2015) – segmento monitorado 1 Urubici – Faixa Direita.	283
Quadro A.29 – Planilha do cálculo do IGG (2015) – segmento monitorado 1 Urubici – Faixa Esquerda.	283
Quadro A.30 – Planilha do cálculo do IGG (2015) – segmento monitorado 2 Urubici – Faixa Direita.	284
Quadro A.31 – Planilha do cálculo do IGG (2015) – segmento monitorado 2 Urubici – Faixa Esquerda.	284
Quadro A.32 – Planilha do cálculo do IGG (2015) – segmento monitorado 3 Urubici – Faixa Direita.	285
Quadro A.33 – Planilha do cálculo do IGG (2015) – segmento monitorado 3 Urubici – Faixa Esquerda.	285
Quadro A.34 – Planilha do cálculo do IGG (2016) – segmento monitorado 1 Urubici – Faixa Direita.	286
Quadro A.35 – Planilha do cálculo do IGG (2016) – segmento monitorado 1 Urubici – Faixa Esquerda.	286
Quadro A.36 – Planilha do cálculo do IGG (2016) – segmento monitorado 2 Urubici – Faixa Direita.	287
Quadro A.37 – Planilha do cálculo do IGG (2016) – segmento monitorado 2 Urubici – Faixa Esquerda.	287
Quadro A.38 – Planilha do cálculo do IGG (2016) – segmento monitorado 3 Urubici – Faixa Direita.	288
Quadro A.39 – Planilha do cálculo do IGG (2016) – segmento monitorado 3 Urubici – Faixa Esquerda.	288
Quadro A.40 – Resultado das medições de trilha de roda – segmento monitorado 1.	289

Quadro A.41 – Resultado das medições de trilha de roda – segmento monitorado 2.....	290
Quadro A.42 – Resultado das medições de trilha de roda – segmento monitorado 3.....	291
Quadro A.43 – Resultado da medição da irregularidade longitudinal (2014).....	292
Quadro A.44 – Resultado da medição da macrotextura e microtextura.....	293
Quadro A.45 – Resultado da medições com o <i>Grip Tester</i> (2014).....	294
Quadro A.46 – Resultado das medidas de deflexão – segmento monitorado 1.....	295
Quadro A.47 – Resultado das medidas de deflexão – segmento monitorado 2.....	296
Quadro A.48 – Resultado das medidas de deflexão – segmento monitorado 3.....	297
Quadro B.1 – Contagem volumétrica do tráfego SC-416.....	301
Quadro B.2 – Contagem volumétrica do tráfego SC-416.....	302
Quadro B.3 – Contagem volumétrica do tráfego SC-416.....	303
Quadro B.4 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2012 – Faixa Direita.....	304
Quadro B.5 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2012 – Faixa Esquerda.....	305
Quadro B.6 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2015 – Faixa Direita.....	306
Quadro B.7 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2015 – Faixa Direita (continuação).....	307
Quadro B.8 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2015 – Faixa Direita (continuação).....	308
Quadro B.9 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2015 – Faixa Direita (continuação).....	309
Quadro B.10 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2015 – Faixa Direita (continuação).....	310
Quadro B.11 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2015 – Faixa Esquerda.....	311
Quadro B.12 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2015 – Faixa Esquerda (continuação).....	312
Quadro B.13 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2016 – Faixa Direita.....	313
Quadro B.14 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2016 – Faixa Direita (continuação).....	314
Quadro B.15 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2016 – Faixa Direita (continuação).....	315
Quadro B.16 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2016 – Faixa Direita (continuação).....	316
Quadro B.17 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2016 – Faixa Direita (continuação).....	317

Quadro B.18 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2016 – Faixa Direita (continuação).....	318
Quadro B.19 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2016 – Faixa Direita (continuação).....	319
Quadro B.20 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2016 – Faixa Direita (continuação).....	320
Quadro B.21 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2016 – Faixa Esquerda.....	321
Quadro B.22 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2016 – Faixa Esquerda (continuação).....	322
Quadro B.23 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2016 – Faixa Esquerda (continuação).....	323
Quadro B.24 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2016 – Faixa Esquerda (continuação).....	324
Quadro B.25 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2016 – Faixa Esquerda (continuação).....	325
Quadro B.26 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2016 – Faixa Esquerda (continuação).....	326
Quadro B.27 – Planilha do cálculo do IGG (2012) – segmento monitorado Itapoá – Faixa Direita.....	327
Quadro B.28 – Planilha do cálculo do IGG (2012) – segmento monitorado Itapoá – Faixa Esquerda.....	327
Quadro B.29 – Planilha do cálculo do IGG (2015) – segmento monitorado Itapoá – Faixa Direita.....	328
Quadro B.30 – Planilha do cálculo do IGG (2015) – segmento monitorado Itapoá – Faixa Esquerda.....	328
Quadro B.31 – Planilha do cálculo do IGG (2016) – segmento monitorado Itapoá – Faixa Direita.....	329
Quadro B.32 – Planilha do cálculo do IGG (2016) – segmento monitorado Itapoá – Faixa Esquerda.....	329
Quadro B.33 – Resultado das medições de trilha de roda.....	330
Quadro B.34 – Resultado da medição da irregularidade longitudinal (2014).....	331
Quadro B.35 – Resultado da medição da macrotextura e microtextura.....	331
Quadro B.36 – Resultado da medições com o <i>Grip Tester</i> (2014).....	332
Quadro B.37 – Resultado das medidas de deflexão.....	333

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEMC	Análise Elástica de Múltiplas Camadas
AFNOR	<i>Association Française de Normalisation</i>
ANAC	Agência Nacional de Aviação
ANP	Agência Nacional do Petróleo
ARTESP	Agência Reguladora de Serviços Públicos São Paulo
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
ATR	Trilha de Roda
BG	Brita Graduada
BR-101	Rodovia Governador Mário Covas
Caltrans	<i>California Department of Transportation</i>
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CAUQ	Concreto Asfáltico Usinado a Quente
CBR	<i>California Bearing Ratio</i>
COPPE/UFRJ	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro
DC	Deformação Controlada
DEINFRA	Departamento Estadual de Infraestrutura
DER/SC	Departamento de Estradas de Rodagem de Santa Catarina
DMT	Densidade Máxima Teórica
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EN	<i>Europäische Norm</i>
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i>
FC1	Fenda Classe 1
FC2	Fenda Classe 2
FC3	Fenda Classe 3
FCL	Fator campo-laboratório
FWD	<i>Falling Weight Deflectometer</i>

GC	Grau de Compactação
HDM	<i>Highway Design and Maintenance Standards Model</i>
IGG	Índice de Gravidade Global
ISC	Índice de Suporte Califórnia
LCPC	<i>Laboratoire Central des Ponts et Chaussées</i>
LD	Lado Direito
LE	Lado Esquerdo
ME	Método de Ensaio

LISTA DE SÍMBOLOS

	Alfabeto latino	
$ E^* $	Módulo Complexo	[MPa]
A	Idade do pavimento desde a construção ou reabilitação	
AGE	Idade do pavimento desde a construção ou restauração	[anos]
a_T	Coefficiente de translação	
ATR	Trincamento total	[%]
B	Deflexão com viga Benkelman	[10 ⁻² mm]
COMP	Índice de compactação	
CR	Evolução do trincamento dos pavimentos	[%]
CRX	Área de trincamento indexado proposto em Paterson (1987)	
D	Diâmetro	[mm]
D_{adm}	Deflexão Admissível	[mm]
DEF	Deflexão máxima média medida com viga Benkelman	[10 ⁻² mm]
DEFM	Deflexão máxima média	[10 ⁻² mm]
D_{FWD}	Deflexão Falling Weight Deflectometer	[10 ⁻² mm]
DMT	Densidade Máxima Teórica	
d_o	Deflexão máxima recuperável medida sob o ponto de aplicação da carga	[10 ⁻² mm]
D_{VB}	Deflexão Viga Benkelman	[10 ⁻² mm]
E_1	Componente real do módulo complexo	[MPa]
E_2	Componente imaginária do módulo complexo	[MPa]
ER	Variável que indica se o pavimento é restaurado ou não	
ES	Espessura da placa	[cm]
e_s	Espessura da placa	[cm]
F_i	Fator de equivalência de eixo para cada categoria “i”	
F_i e E_i	Pontos (frequência, módulo)	
F_p	Fator de pista	
Fr	Fator climático regional	
GC	Grau de compactação	[%]

Gmb	Massa específica aparente de uma mistura asfáltica compactada	[g/cm ³]
H _{revest}	Espessura do revestimento	[cm]
HS	Altura de areia	[mm]
i	Variável <i>dummy</i>	
IDADE	Idade do pavimento desde o ano de implantação	[anos]
IRI	Índice de Rugosidade Internacional	[m/km]
IRI ₀	Índice de Rugosidade Internacional inicial	[m/km]
j	Ponto de leitura da deformação permanente na placa, varia de 1 a 15	
L	Comprimento	[cm]
l	Largura	[cm]
M	Massa do corpo de prova	[gr]
m _{0j}	Medida a da profundidade no ciclo 0 do ponto <i>j</i>	
MEA	Massa Específica Aparente	
m _{ij}	Medida da profundidade no ciclo <i>i</i> do ponto <i>j</i>	
MMP	Precipitação média mensal	[m/mês]
NA	Número equivalente acumulado de solicitações do eixo-padrão de 8,2 tf, calculado pelos fatores de equivalência de carga da AASHTO	
N _{acum}	Número equivalente acumulado de solicitações do eixo padrão de 8,2 tf, calculado com os fatores de equivalência de carga da AASHTO	
NE ₄	Número equivalente acumulado de solicitações do eixo-padrão de 8,2 tf	
NE _{ci}	Número equivalente acumulado de operações do eixo padrão desde o início do trincamento, em milhões	
N _r	Número de solicitações para atingir o critério de ruptura adotado	
N _{USACE}	Número equivalente acumulado de solicitações do eixo-padrão de 8,2 tf, calculado pelos fatores de equivalência de carga da USACE	
Pi	Porcentagem média de afundamento na superfície da placa no ciclo <i>i</i>	[%]

QI	Quociente de irregularidade	[cont./km]
R	Raio de curvatura	[m]
R	Constante universal dos gases	
RDM	Profundidade média das trilhas de roda	[mm]
RH	Variável que indica se o pavimento é restaurado ou não	
RT	Resistência à tração indireta	
SCN	Número estrutural corrigido	
Sd	Desvio padrão	
SN	Número estrutural	
t	Tempo	[s]
T	Temperatura	[K]
t ₅₀	Tempo em que a área trincada chega a 50%	[anos]
T _R	Temperatura de referência	[K]
TR	Variável que indica o tipo de revestimento	
tr ₁ e tr ₂	Coefficiente de ajuste da translação	
TRI	Profundidade média nas trilhas de roda	[mm]
TRINCA	Trincamento total	[%]
tr _m	Fator de translação	
V	Volume	[m ³]
VDM	Volume médio diário de tráfego	
V _i	Número de veículos de categoria “i”	
V _v	Volume de vazios	[%]
W _i	Energia dissipada no ciclo de carga, i	

Alfabeto grego

δH	Energia de ativação aparente característica do material	
Δε ₆	Deformação relativa a um milhão de ciclos	[μm/m]
ε	Deformação	
ε ₀	Deformação sinusoidal	[μm/m]
ε ₆	Deformação para um milhão de ciclos	[μm/m]
ε _t	Deformação de tração inicial	
σ	Tensão	[Mpa]

σ_0	Tensão Sinusoidal	[MPa]
ϕ	Ângulo de fase	[°]
ω	Velocidade angular	[rad/s]

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	15
LISTA DE QUADROS	22
SUMÁRIO	34
1. INTRODUÇÃO.....	39
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	39
1.2 OBJETIVOS	40
1.2.1 Objetivo geral.....	40
1.2.2 Objetivos específicos	40
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	41
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	43
2.1 AVALIAÇÃO FUNCIONAL E ESTRUTURAL DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS	43
2.1.1 Avaliação funcional.....	44
2.1.2 Avaliação Estrutural.....	47
2.2 RETROANÁLISE	53
2.3 DEFORMAÇÃO PERMANENTE	54
2.3.1 Mecanismos de deformação permanente	54
2.3.2 Ensaios para avaliação da deformação permanente	56
2.4 MÓDULO COMPLEXO DO CONCRETO ASFÁLTICO	58
2.4.1 Ensaio de módulo complexo	60
2.4.2 Representação e interpretação do módulo complexo.....	61
2.5 FADIGA EM PAVIMENTOS ASFÁLTICOS	67
2.5.1 Tipos de solicitações.....	67
2.5.2 Modos de carregamento nos ensaios de fadiga	68
2.5.3 Ensaios de fadiga.....	69
2.5.4 Métodos de análise da resposta à fadiga	71
2.6 MODELOS DE DESEMPENHO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS	73
2.6.1 Modelos de desempenho desenvolvidos por Queiroz (1981).....	74
2.6.2 Modelos de desempenho desenvolvidos por Paterson (1987)	75

2.6.3	Modelos de desempenho desenvolvidos por Marcon (1996)	77
2.6.4	Modelos de desempenho desenvolvidos por Yshiba (2003)	81
2.6.5	Modelos de desempenho desenvolvidos por Oliveira (2007)	82
2.6.6	Modelos de desempenho desenvolvidos por Vitorello (2008)	84
2.6.7	Considerações sobre os modelos de previsão de desempenho apresentados.....	85
3.	MÉTODO DA PESQUISA	87
3.1	ETAPA 1 – CARACTERIZAÇÃO DOS SEGMENTOS MONITORADOS.....	88
3.1.1	Informações gerais	88
3.1.2	Atualização do tráfego.....	89
3.1.3	Estrutura do pavimento	89
3.2	ETAPA 2 – PROCESSO EXECUTIVO E CONTROLE TECNOLÓGICO.....	89
3.2.1	Processo executivo	90
3.2.2	Caracterização dos materiais utilizados na estrutura do pavimento	90
3.2.3	Controle tecnológico das camadas do pavimento.....	91
3.3	ETAPA 3 – CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DOS MATERIAIS NA FASE DE OBRA.....	91
3.3.1	Solo de fundação	92
3.3.2	Camada de sub-base	92
3.3.3	Camada base	93
3.3.4	Revestimento asfáltico	93
3.4	ETAPA 4 – CARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO MECÂNICO DAS MISTURAS ASFÁLTICAS PÓS-OBRA	93
3.4.1	Mistura asfáltica	94
3.4.2	Moldagem de placas em laboratório	96
3.4.3	Ensaio de deformação permanente	97

3.4.4	Preparação dos corpos de prova para o ensaio de módulo complexo e resistência a fadiga.....	99
3.4.5	Ensaio de módulo complexo.....	99
3.4.6	Ensaio de resistência à fadiga.....	101
3.5	ETAPA 5 – MEDIÇÃO TEMPORAL DAS CONDIÇÕES DO PAVIMENTO DOS SEGMENTOS MONITORADOS.....	101
3.5.1	Levantamentos realizados após abertura ao tráfego	102
3.5.2	Avaliação funcional.....	106
3.5.3	Avaliação estrutural.....	113
3.5.4	Retroanálise.....	114
3.5.5	Contagem volumétrica do tráfego	115
3.6	ETAPA 6 – ANÁLISE E MODELAÇÃO DO DESEMPENHO DO PAVIMENTO DOS SEGMENTOS MONITORADOS.....	115
3.6.1	Análise funcional.....	116
3.6.2	Análise estrutural.....	116
3.6.3	Modelação do desempenho do pavimento.....	117
3.7	ETAPA 7 – ESTIMATIVA DA VIDA ÚTIL DO PAVIMENTO DOS SEGMENTOS MONITORADOS.....	117
4.	ANÁLISE DOS RESULTADOS	119
4.1	CARACTERIZAÇÃO DOS SEGMENTOS MONITORADOS	119
4.1.1	Caracterização dos segmentos monitorados de Urubici	119
4.1.2	Caracterização do segmento monitorado de Itapoá.....	124
4.2	PROCESSO EXECUTIVO E CONTROLE TECNOLÓGICO	127
4.2.1	Processo executivo e controle tecnológico dos segmentos monitorados de Urubici.....	127
4.2.2	Processo executivo e controle tecnológico do segmento monitorado de Itapoá.....	143
4.3	CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DOS MATERIAIS NA FASE DE OBRA.....	153
4.3.1	Segmentos de Urubici	153

4.3.2	Segmento de Itapoá.....	156
4.4	CARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO MECÂNICO DAS MISTURAS ASFÁLTICAS PÓS-OBRA	157
4.4.1	Dano por umidade induzida.....	157
4.4.2	Moldagem de placas em laboratório	159
4.4.3	Ensaio de deformação permanente	162
4.4.4	Caracterização reológica	170
4.4.5	Comportamento à fadiga das misturas	184
4.5	ANÁLISE E MODELAÇÃO DO DESEMPENHO DO PAVIMENTO DOS SEGMENTOS MONITORADOS	194
4.5.1	Contagem do tráfego	194
4.5.2	Análise e modelação do desempenho do pavimento dos segmentos monitorados de Urubici.....	199
4.5.3	Análise e modelação do desempenho do segmento monitorado de Itapoá	221
4.6	ESTIMATIVA DA VIDA ÚTIL DO PAVIMENTO	234
4.6.1	Parâmetros dos materiais constituintes da estrutura dos pavimentos	234
4.6.2	Simulação numérica com software AEMC-Sispav	237
4.6.3	Simulação numérica com o software ViscoRoute 2,0.....	239
5.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	243
5.1	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	246
	REFERÊNCIAS	247
	ANEXO A SEGMENTOS MONITORADOS DE URUBICI	257
	ANEXO A.1 Contagem de Tráfego	259
	ANEXO A.2 Avaliação Funcional	262
	ANEXO A.3. Avaliação Estrutural.....	295
	ANEXO B SEGMENTO MONITORADO DE ITAPOÁ.....	299
	ANEXO B.1 Contagem de Tráfego	301
	ANEXO B.2 Avaliação Funcional	304
	ANEXO B.3 Avaliação Estrutural	333

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O estudo da pavimentação, nestes últimos anos, apresentou avanços tecnológicos devido ao desenvolvimento de ensaios de laboratório e de diversos métodos que buscam um entendimento mais analítico do processo de dimensionamento de pavimentos. Com isto, tenta-se substituir os métodos empíricos que caracterizam o atual estado da arte.

Os métodos empíricos se fundamentam na observação e experiência de determinados tipos de pavimentos, condições específicas de clima e materiais de pavimentação, os quais, não precisamente, coincidem com as características do projeto a ser executado. Desta forma, a principal limitação dos métodos empíricos é que estes não podem ser generalizados de forma confiável para outros cenários onde não foram analisados.

O método brasileiro utilizado para o dimensionamento de pavimentos asfálticos é o método empírico baseado no Índice de Suporte Califórnia (*California Bearing Ratio* - CBR) que foi desenvolvido em 1966 e revisado em 1981 pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), atual Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Desde então, os conhecimentos sobre pavimentação avançaram gradualmente sendo que no ano 2006 se estabelece a possibilidade de dimensionamento de pavimentos baseados no método mecanístico-empírico (BRASIL, 2006a).

O método de dimensionamento mecanístico-empírico utiliza ferramentas de análise estrutural para o cálculo de tensões e deformações que determinam os mecanismos de fadiga e de deformabilidade do revestimento. Assim, o último passo dentro do processo de dimensionamento tem uma parcela empírica que inclui a aplicação de fatores de calibração de campo sobre modelos desenvolvidos em laboratório.

No ano 2009, a PETROBRAS (Petróleo Brasileiro S.A.) pôs em prática o Projeto Rede Temática de Tecnologia do Asfalto com o intuito de aprimorar a tecnologia de pavimentação existente no Brasil, tendo como um dos objetivos principais o desenvolvimento de um novo método de dimensionamento de pavimentos asfálticos - SDIMPA (Sistema de Dimensionamento de Pavimentos Asfálticos).

Em uma coordenação conjunta entre a PETROBRAS e várias universidades, a Fase I deste projeto destinou-se à construção de

segmentos experimentais de rodovias no Brasil com a finalidade de montar um banco de dados de materiais e de desempenho de pavimentos.

Na Fase II do projeto de pesquisa, ora em andamento, está sendo feito o monitoramento sistemático destes segmentos para que se possa calibrar o novo método de dimensionamento proposto e definir fatores campo-laboratório (FCL) regionalizados, que permitam otimizar as estruturas previstas num dimensionamento mecânico.

No estado de Santa Catarina estão sendo monitorados nove segmentos, estando cinco destes no contorno de Araranguá (na duplicação da rodovia BR 101/SC), três em Urubici e um em Itapoá.

A presente pesquisa se propõe avaliar os resultados do monitoramento dos três segmentos de Urubici, localizados na rodovia SC-370, e o segmento de Itapoá, inserido na rodovia SC-416.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

A pesquisa tem por objetivo geral realizar a avaliação do desempenho de pavimentos flexíveis de quatro segmentos monitorados em Urubici e Itapoá no estado de Santa Catarina.

1.2.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos neste presente trabalho propõe-se:

- Organizar as informações do banco de dados: ensaios e controle tecnológico da etapa de execução dos segmentos e ensaios efetuados no Laboratório de Pavimentação da Universidade Federal de Santa Catarina.
- Avaliar a evolução funcional do pavimento por meio de medições periódicas de afundamento de trilha de roda (ATR), irregularidade longitudinal (IRI), macro e microtextura da superfície e levantamento de defeitos superficiais.
- Avaliar a evolução estrutural do pavimento através das medidas periódicas de deflexões.
- Avaliar a evolução do tráfego com caráter quantitativo e classificatório dos veículos que trafegam pelos segmentos monitorados.

- Comparar o desempenho do pavimento dos segmentos monitorados em relação a modelos de previsão de desempenho de pavimentos flexíveis.
- Estimar a vida útil do pavimento dos segmentos monitorados, baseado nos ensaios de fadiga, com o apoio dos softwares AEMC/Sispav (análise elástica) e Viscoroute (análise viscoelástica).

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A organização da presente dissertação é a seguinte:

- Capítulo 1 - INTRODUÇÃO, circunscreve o assunto da pesquisa, demarca o objetivo geral e os objetivos específicos que se alcançaram nesta pesquisa.
- Capítulo 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA aborda os aspectos da literatura referentes ao tema de pesquisa. A bibliografia consultada deu o embasamento para o desenvolvimento da pesquisa, assim como a sistematização e análise dos resultados a serem obtidos.
- Capítulo 3 – MÉTODO DA PESQUISA define e descreve o método utilizado para atingir os objetivos propostos pelo trabalho.
- Capítulo 4 – ANÁLISE DOS RESULTADOS, descrevem-se as características, o processo executivo, o controle tecnológico e o desempenho dos segmentos monitorados. Além disso, são apresentados os resultados de ensaios de laboratório e levantamento de campo, dando ênfase às avaliações estrutural e funcional dos segmentos monitorados.
- Capítulo 5 – CONCLUSÕES, são apresentadas as conclusões da pesquisa e perspectivas futuras para a continuação do estudo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 AVALIAÇÃO FUNCIONAL E ESTRUTURAL DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

Os pavimentos flexíveis são as infraestruturas de transporte mais utilizadas ao redor do mundo. A estrutura do pavimento é constituída por camadas estratificadas, com a finalidade de distribuir as solicitações de carga, limitando as tensões e deformações, para garantir a circulação de veículos com segurança, comodidade e economicidade por um longo período de tempo (BERNUCCI *et al.*, 2008).

O comportamento dos pavimentos envolve muitas variáveis tais como: dimensionamento, tipo e qualidade dos materiais, técnicas construtivas, carga de tráfego, solicitações ambientais, práticas de manutenção e reabilitação, (JOHNSTON, 2010). A combinação destas variáveis sobre as quais nem muitas delas se tem domínio, torna complexa a previsão do desempenho dos pavimentos.

Mediante a avaliação de pavimentos é possível verificar se o pavimento necessita manutenção, reconstrução, se foi bem construído ou se está atendendo às especificações para os quais foi projetado. A avaliação de pavimentos constitui-se em um conjunto de atividades que visam descrever qualitativa e quantitativamente a condição dos pavimentos. Segundo, os principais aspectos práticos da avaliação de pavimentos são:

- fornecer dados para verificação e aperfeiçoamento de métodos de projeto;
- proporcionar dados para melhorar as técnicas de construção e manutenção;
- prover informações sobre as condições gerais da rede, indicando deficiências; e,
- oferecer dados para o desenvolvimento de modelos de previsão do desempenho de pavimentos.

Existem dois tipos de avaliação em estruturas de pavimentos: a avaliação funcional relativa ao conforto e segurança da circulação, e a avaliação estrutural concernente à qualidade do pavimento em suportar as cargas dos veículos, sem exceder a capacidade de suporte da estrutura.

2.1.1 Avaliação funcional

A avaliação funcional descreve o desempenho do pavimento quanto à qualidade ao rolamento e à segurança, conforme o ponto de vista do usuário. Geralmente é determinado por meio da medição de defeitos superficiais, irregularidade longitudinal e da medida da macro e microtextura.

2.1.1.1 Estado da superfície do pavimento

Os danos e deteriorações na superfície do pavimento, causados pela interação de diversos fatores, exibem a condição atual do pavimento. No Brasil, as avaliações do estado da superfície do pavimento são realizadas através de inventários que identificam e catalogam os defeitos segundo a norma DNIT 005/2003 – TER (BRASIL, 2003a). Com isto, tenta-se definir uma solução tecnicamente adequada de intervenção e, em caso de necessidade, indicar as melhores alternativas de restauração do pavimento (REDE, 2010).

A avaliação da superfície pode ser feita de forma subjetiva, através do Valor de Serventia Atual (VSA), onde os avaliadores transitam pelo trecho atribuindo notas que variavam de 0 (muito fraco) a 5 (muito bom), associando assim a nota subjetiva aos defeitos do pavimento (MEDINA e MOTTA, 2005). Este procedimento para este tipo de avaliação encontra-se definido na norma DNIT 009/2003 – PRO (BRASIL, 2003c).

A forma de avaliar objetivamente o estado da superfície do pavimento é através do procedimento descrito na norma DNIT 006/2003 – PRO (BRASIL, 2003b). Destaca-se o Índice de Gravidade Global (IGG), que quantifica a frequência de ocorrência de cada tipo de defeito, atribui um fator de ponderação para cada um deles e estabelece um índice acumulado que permite atribuir um conceito ao estado da superfície do pavimento, conforme apresentado no Quadro 2.1.

Quadro 2.1 – Conceitos de degradação do pavimento em função do IGG.

Conceitos	Limites
Ótimo	$0 < \text{IGG} \leq 20$
Bom	$20 < \text{IGG} \leq 40$
Regular	$40 < \text{IGG} \leq 80$
Ruim	$80 < \text{IGG} \leq 160$
Péssimo	$\text{IGG} \geq 160$

Fonte: Adaptado de Brasil (2003).

2.1.1.2 Irregularidade longitudinal

Segundo a norma ASTM E867 (ASTM, 2012) a irregularidade longitudinal de um pavimento, representa o conjunto de desvios da superfície em relação a um plano de referência. Esta irregularidade afeta a dinâmica dos veículos, a qualidade de rolamento, o carregamento dinâmico e a drenagem do pavimento.

A irregularidade longitudinal é medida ao longo de uma linha imaginária, paralela ao eixo longitudinal da rodovia e, em geral, coincidente com as regiões das trilhas de roda. É possível, embora incomum, realizar a irregularidade transversal ao pavimento, mensurando os afundamentos permanentes nas trilhas de roda (MATTOS, 2014).

O índice internacional para a medida da irregularidade, designado de IRI - *International Roughness Index* (Índice de Irregularidade Internacional), é um índice estatístico baseado num modelo matemático chamado quarto-de-carro, que simula os movimentos verticais induzidos a uma roda sob velocidade de 80 km/h. Os movimentos verticais induzidos são acumulados e divididos pela distância percorrida, resultando num índice com unidade m/km (QUEIROZ, 1981; BERNUCCI *et al.*, 2008).

Historicamente, a medida de irregularidade no Brasil era dada pelo Quociente de Irregularidade (*Quarter-car Index – QI*), mas atualmente há uma tendência a se adotar o IRI. Esta mudança se deve, em grande parte, ao fato do QI não ser um índice utilizado nos países desenvolvidos, dificultando as comparações diretas com malhas rodoviárias estrangeiras (BARELLA, 2008). Desse modo, a Equação (2.1) apresenta a relação entre ambos índices:

$$QI = 13IRI \quad (2.1)$$

onde:

QI = Quociente de Irregularidade (cont./km);

IRI = Índice Internacional de Irregularidade (m/km).

O Quadro 2.2 expõe os conceitos atribuíveis às condições de superfície do pavimento baseados nas faixas de valores dos índices QI, IRI (avaliação objetiva) e IGG (avaliação subjetiva).

Quadro 2.2 – Condições de Superfície do Pavimento.

Conceito	Irregularidade		IGG
	QI (cont./km)	IRI (m/km)	
Excelente	13-25	1-1,9	0-20
Bom	25-35	1,9-2,7	20-40
Regular	35-45	2,7 - 3,5	40-80
Ruim	45-60	3,5-4,6	80-160
Péssimo	>60	>4,6	> 160

Fonte: Adaptado de Brasil (2006b).

Segundo Barella (2008), os usos mais importantes para os dados de irregularidade longitudinal, gerados a partir do perfil longitudinal de um pavimento são:

- monitorar a condição dos pavimentos;
- estudar as condições de trechos com o fim de pesquisa;
- avaliar a qualidade de execuções e restaurações de pavimentos, e;
- diagnosticar as condições e estabelecer as soluções adequadas de reparos.

Embora se tenha citado as diferentes utilidades de uma avaliação de irregularidade longitudinal de pavimentos, cabe ressaltar que somente os dois primeiros pontos serão abordados neste trabalho.

2.1.1.3 Textura da superfície do pavimento

O estado funcional de um pavimento é avaliado e quanto às características geométricas da superfície quanto às características físicas. Assim, a superfície do pavimento, deverá possuir uma aderência e rugosidade ótima desde o ponto de vista de segurança e conforto.

As características das misturas betuminosas que afetam a aderência são a microtextura e a macrotextura. A microtextura depende da aspereza dos agregados utilizados na mistura asfáltica do revestimento, devendo esta característica resistir ao polimento decorrente da ação do tráfego. Quando os veículos se deslocam a velocidades de até 50 km/h a microtextura é o fator predominante na determinação da resistência à derrapagem. Segundo Ferreira (2002), os agregados são responsáveis pelo bom desempenho da microtextura e devem, portanto, satisfazer os seguintes requisitos:

- apresentar e conservar as arestas vivas pelo maior tempo possível;

- resistir ao tráfego (dureza e resistência), e;
- proporcionar boa resistência ao polimento acelerado.

No entanto, a ruptura do filme de água se torna mais difícil a velocidades médias ou altas, devido ao menor tempo de contato entre o pneu e o pavimento. Porém, a resistência à drenagem torna-se basicamente dependente do coeficiente de atrito e as protuberâncias sobre a superfície do pavimento (macrotextura) que devem ser suficientemente longas e agudas de modo a deformar a superfície do pneumático, a despeito da presença da película de água sobre o pavimento (MOMM, 1998).

A acordo com Ferreira (2002), o tipo de macrotextura apresentada inicialmente por um revestimento asfáltico depende dos seguintes fatores:

- origem mineralógica;
- processo de britagem;
- projeto das misturas do revestimento, e;
- método de preparação e de execução do revestimento.

A macrotextura sofre constantes modificações com o passar do tempo, devido principalmente à ação do tráfego. A perda da capacidade de escoamento através da macrotextura constitui um fator de risco para a segurança viária. O estado ideal é que a superfície de rolamento se apresente simultaneamente rugosa (boa macrotextura) e áspera (boa microtextura).

2.1.2 Avaliação Estrutural

A avaliação estrutural abrange a caracterização completa de elementos e variáveis estruturais do pavimento. Fornece a descrição objetiva de seu comportamento em função das cargas de tráfego e dos fatores ambientais, além de determinar indicadores de qualidade do revestimento e a integridade das camadas de materiais subjacentes ao revestimento (BALBO, 2007).

Segundo Bernucci *et al.* (2008), a avaliação estrutural do pavimento pode ser efetuada por meio dos elementos obtidos nos levantamentos dos defeitos da superfície, nos ensaios destrutivos e ensaios não-destrutivos:

- O método destrutivo é aquele que investiga a condição estrutural de cada camada que compõe o pavimento, por abertura de trincheiras ou poços de sondagem, permitindo recolher amostras

de cada material até o subleito e realizar ensaios de capacidade de carga. Pela sua própria natureza destrutiva, só pode ser empregado em alguns poucos pontos selecionados como representativos.

- O método não-destrutivo para avaliação estrutural do pavimento é realizado através do levantamento deflectométrico da estrutura, com o emprego de equipamentos que reproduzem, com boa aproximação, a carga no pavimento devido à ação do tráfego atuante. Portanto, constituem-se na maneira mais apropriada para determinar a adequação estrutural do pavimento. Através da interpretação das bacias de deformação e da técnica de retroanálise é possível estimar o comportamento mecânico dos materiais que compõem a estrutura do pavimento.

2.1.2.1 Deformabilidade no pavimento

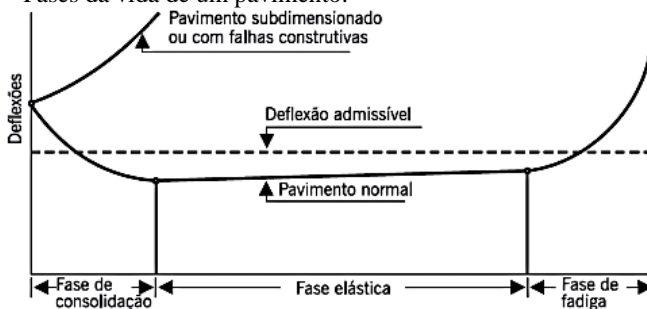
A ação das cargas de tráfego sobre os pavimentos flexíveis provoca deformações de dois tipos: permanentes e recuperáveis.

As deformações permanentes são aquelas que permanecem mesmo após cessar o efeito da atuação da carga, ou seja, têm caráter residual. São exemplos de deformações permanentes aquelas geradas nas trilhas de roda, principalmente por densificação adicional pelo tráfego, bem como as rupturas de natureza plástica.

Já as deformações, ou deflexões recuperáveis, representam um indicativo de comportamento elástico da estrutura, deixando de existir alguns momentos após a retirada da carga. As deflexões recuperáveis provocam o arqueamento das camadas do pavimento, e a sua repetição é a responsável pelo fenômeno de fadiga das camadas betuminosas e cimentadas (BRASIL, 2006c).

A evolução das deflexões recuperáveis ao longo da vida do pavimento pode se dar em três fases, como demonstrado na Figura 2.1.

Figura 2.1 – Fases da vida de um pavimento.



Fonte: Adaptado de Brasil (2006b).

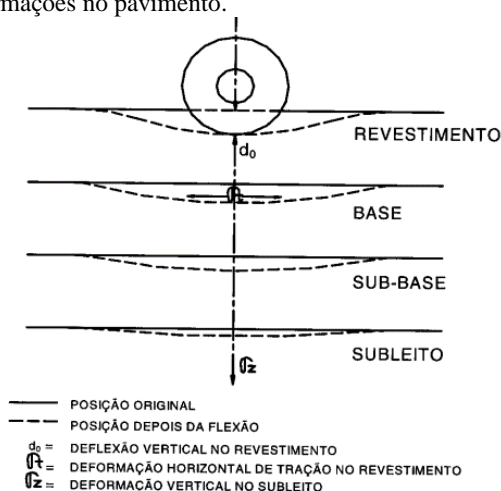
- Fase de consolidação: a deflexão decresce devido a consolidação adicional provocada pela ação do tráfego.
- Fase elástica: a deflexão permanece com valores praticamente constantes.
- Fase de fadiga: caracteriza-se por um acelerado crescimento do valor da deflexão devido à perda de capacidade estrutural das camadas do pavimento.

O estudo das deflexões ou das condições de deformabilidade dos pavimentos flexíveis e semirrígidos é fundamental à compreensão de seu comportamento, já que estas refletem, em última análise, as condições estruturais das diversas camadas e do próprio subleito.

2.1.2.2 Medição de deflexões

A deflexão de um pavimento representa a resposta das camadas estruturais e do subleito à aplicação do carregamento. Quando uma carga é aplicada em um ponto (ou uma área) da superfície do pavimento, todas as camadas fletam devido às tensões e às deformações geradas pelo carregamento. Como mostrado na Figura 2.2, o valor da deflexão em cada camada depende do módulo de elasticidade e diminui com a profundidade e o distanciamento do ponto de aplicação da carga (GONÇALVES, 1999).

Figura 2.2 – Deformações no pavimento.



Fonte: Adaptado de DNER (1998).

Segundo Medina e Motta (2005), os pavimentos mais saudáveis estruturalmente fletem menos do que outros pavimentos mais debilitados. Além disso, pavimentos com deflexões mais baixas, suportam maior número de solicitações de tráfego.

Os equipamentos de medição de deflexão para avaliação estrutural do pavimento – defletômetros – mais utilizados no Brasil são a Viga Benkelman (VB) e a *Falling Weight Deflectometer* (FWD).

a) Viga Benkelman (VB)

A viga Benkelman é um equipamento bastante simples e de fácil operação. Um caminhão com eixo traseiro simples de roda dupla carregado com 8,2tn aplica uma carga quase estática sob a qual será medida a deformação elástica. O método de ensaio é regido pela norma DER – ME 024/94.

Existem alguns aspectos limitantes no emprego da viga Benkelman. Segundo Balbo (2007) cita-se os seguintes: precisão de leitura no extensômetro, posicionamento da ponta de prova e a repetitividade das leituras dependente de fatores humanos e operacionais.

b) Falling Weight Deflectometer (FWD)

O FWD é um deflectômetro de impacto projetado para simular a passagem de uma carga de roda em movimento no pavimento. A medida de deflexão é obtida pela queda de um conjunto de massas, a partir de alturas pré-fixadas, sobre um sistema de amortecedores de borracha. (BORGES, 2001).

A maior vantagem dos equipamentos de impacto é a sua capacidade de simular, aproximadamente, as características de uma carga de tráfego transiente em termos de magnitude e frequência, o que não ocorre no ensaio estático com viga Benkelman. As deflexões resultantes se aproximam, portanto, daquelas que seriam causadas por uma carga real dinâmica (PINTO, 1991).

c) Correlação entre os equipamentos de ensaio

É evidente que as medidas de deflexões com FWD são diferentes (menores em geral) daquelas medidas com a viga Benkelman, sobre um mesmo pavimento. Para finalidades práticas de engenharia, é preciso uma calibração inicial com o uso de ambos os equipamentos para estabelecer correlações, posto que as normas vigentes têm como referência os padrões de deflexão Benkelman (BALBO, 2007).

Os modelos de correlação a empregar nesta pesquisa, estarão baseadas no estudo de Borges (2001), que realizou uma correlação da VB e o FWD na malha rodoviária estadual catarinense.

O Quadro 2.3, apresenta os modelos de correlação a empregar, segundo o tipo de material e espessura da estrutura de pavimento dos segmentos monitorados.

Quadro 2.3 – Correlações entre FWD e VB para pavimentos Catarinenses.

Estrutura	Camadas	Material/ Espessura	Correlação
Tipo 1	Revestimento	CAUQ (4,0 a 6,0cm)	$D_{VB} = 1,202 D_{FWD} - 1,087$ $R^2 = 0,72$
	Base Sub-base	Brita Graduada Macadame Seco	$D_{VB} = 1,224 D_{FWD}$ $R^2 = 0,72$

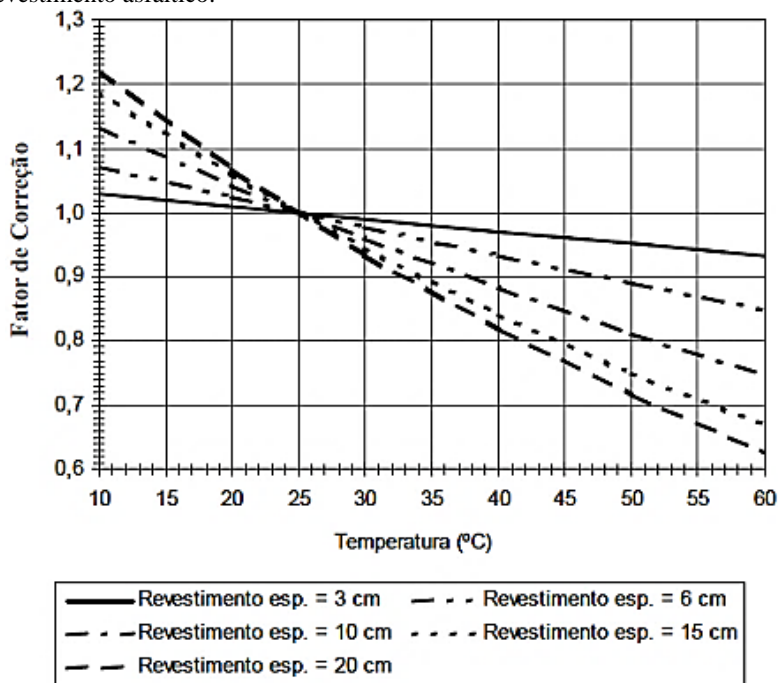
Fonte: Adaptado de Borges (2001).

d) *Correção da deflexão em função da temperatura do revestimento asfáltico*

Como o asfalto é um material viscoelástico sensível à temperatura, faz-se necessário aplicar um fator de correção para as medidas de deflexão realizadas com temperatura diferente de 25°C.

Na Figura 2.3, apresentam-se os fatores de correção em função da temperatura e da espessura do revestimento asfáltico.

Figura 2.3 – Fator de correção da deflexão em função da temperatura do revestimento asfáltico.



Fonte: Adaptado de DER (2006).

2.1.2.3 Aplicações de parâmetros deflectométricos

Para a adequada compreensão da condição estrutural do pavimento, segundo ao definido no método brasileiro de dimensionamento de pavimentos TECNAPAV (PREUSSLER *et al.*, 1981), o critério de cálculo de deflexão admissível (Dadm) precisa ser definida. A mesma, quantifica o número acumulativo de repetições (N) da deflexão

admissível que provoca a ruptura por fadiga da camada de concreto asfáltico, conforme a Equação (2.2)

$$\log Dadm = 3,148 - 0,188 \log N \quad (2.2)$$

onde:

$Dadm$ = Deflexão admissível (10^{-2} mm), e;

N = Número de solicitações de eixos equivalentes ao eixo padrão.

2.2 RETROANÁLISE

Talvez a mais importante utilização de parâmetros deflectométricos na atualidade seja a avaliação dos valores modulares das camadas dos pavimentos, para as suas condições *in situ*, mediante técnicas de retroanálise (DNER, 1994b).

Segundo Balbo (2007), a retroanálise é um processo pelo qual, conhecendo-se as respostas em termos de deformações ou tensões da estrutura real, medidas por meio de algum instrumento, procura-se inferir os módulos de elasticidade das camadas do pavimento, verificando-se para quais parâmetros (em geral, os parâmetros geométricos e de carregamento são conhecidos a priori), o modelo teórico consegue representar com maior fidelidade possível, as medidas reais obtidas em campo. Bernucci *et al.* (2008) salientam, que neste método se utiliza o termo módulo de elasticidade, por ser nesse caso um parâmetro recalculado e não determinado em laboratório por meio do ensaio de carga repetida, como é o caso do módulo de resiliência.

Devido às diferentes soluções que podem ser adotadas para uma mesma bacia deflectométrica, é possível obter diferentes combinações modulares para uma determinada bacia deflectométrica. De acordo com Taylor (2012), alguns dos principais problemas encontrados nos procedimentos de retroanálise são os seguintes:

- módulo semente adotado para o início da retroanálise;
- natureza não-linear dos materiais empregados;
- camada rígida no subleito;
- variações nas espessuras das camadas do pavimento, por razões construtivas e de manutenção; e,
- rigidez relativa das camadas.

É importante mencionar a dificuldade da estimativa dos valores modulares de camadas de revestimento asfáltico com espessura menor que 75mm. Verifica-se que grandes variações nos módulos dessas

camadas alteram de maneira pouco significativa o valor da deflexão teórica calculada, o que acaba conduzindo a uma dispersão elevada dos módulos obtidos na retroanálise (JÚNIOR, 2007).

Em relação aos *softwares* que auxiliam no cálculo dos módulos, podem-se citar os seguintes: FEPAVE, ELSYM 5, KENLAYER, REPAV e BAKFAA. Neste trabalho será aplicado o software BAKFAA.

O software BAKFAA, foi desenvolvido na FAA (*Federal Aviation Administration*), órgão de aviação civil dos Estados Unidos da América. O mesmo foi criado com objetivo de atender às pistas utilizadas na aviação. Entretanto, pode também ser utilizada para pavimentos rodoviários. O subsídio para o uso deste software é o levantamento das bacias deflectométricas com FWD.

O programa realiza o retroanálise de pavimentos asfálticos, baseado na análise elástica das camadas do pavimento. O processo de determinação de erros é baseado na Raiz Quadrática Média (RMS – *Root Mean Square*), que implica a resolução dos mínimos quadrados, entre as diferenças entre as deflexões do FWD e as deflexões calculadas.

Para a aplicação do programa são inseridas a espessura, o módulo de elasticidade semente e o coeficiente de Poisson de cada camada do pavimento. Além disso, deve ser fornecido o raio da placa de aplicação da carga do FWD e as posições com as respectivas deflexões, para os sete sensores do FWD. O programa permite a análise simultânea de até dez camadas.

2.3 DEFORMAÇÃO PERMANENTE

2.3.1 Mecanismos de deformação permanente

A deformação permanente ou trilha de roda (ATR), é um problema de desempenho dos pavimentos asfálticos. É caracterizada, principalmente, por uma depressão longitudinal na superfície do pavimento devido à ação repetida da passagem das cargas de roda dos pneus e ao fluxo canalizado dos veículos pesados (MOURA, 2010). Este defeito, pode ser atribuído ao revestimento (Figura 2.4a), às subcamadas (Figura 2.4b) ou simultaneamente a ambos.

Figura 2.4 – Deformações permanentes em pavimentos asfálticos.



a) No revestimento (trilha de roda esquerda)

Fonte: Adaptado de Bernucci *et al.* (2008).

b) No sistema

As camadas subjacentes ao revestimento podem apresentar deformações permanentes principalmente por densificação adicional pelo tráfego e por ruptura ao cisalhamento.

No revestimento, a deformação permanente pode ser considerada como a ocorrência simultânea da deformação viscosa do ligante asfáltico e pela deformação plástica da estrutura mineral da mistura asfáltica (N.H.I., 2000).

A camada asfáltica, no início da vida de serviço, está sujeita a uma pequena deformação permanente caracterizada mais por consolidação do que por características viscosas do ligante asfáltico. Essa deformação inicial deve ser pequena ou inexpressiva. Mesmo reduzida, ela possibilita um fechamento da mistura asfáltica com uma pequena redução do porcentagem do volume de vazios. Já a deformação permanente causada pela viscosidade do ligante asfáltico, associada à lubrificação das partículas, é mais pronunciada ao longo da vida de serviço da mistura asfáltica (BERNUCCI *et al.*, 2008; MOURA, 2010; MATTOS, 2014).

Sousa *et al.* (1991) avaliaram a resistência à deformação permanente em misturas betuminosas. Nesta investigação, para as misturas estudadas, os autores relacionaram as características das misturas que afetam à deformação permanente nos pavimentos rodoviários, como as apresentadas no Quadro 2.4.

Quadro 2.4 – Fatores que afetam resistência à deformação permanente de misturas betuminosas.

Parâmetro	Fator	Mudança do fator	Efeito na resistência à deformação permanente
Agregado	Textura superficial	Lisa para rugosa	Aumenta
	Gradação	Descontínua (gap) para contínua	Aumenta
	Forma	Redonda para angular	Aumenta
	Tamanho	Aumento do tamanho máximo	Aumenta
Betume	Rigidez ⁽ⁱ⁾	Aumento	Aumenta
Mistura	Porcentagem de betume	Aumento	Diminui
	Volume de vazios ⁽ⁱⁱ⁾	Aumento	Diminui
	VAM	Aumento	Diminui ⁽ⁱⁱⁱ⁾
	Método de compactação	(iv)	(iv)
Condições locais	Temperatura	Aumento	Diminui
	Estado de tensão/extensão	Aumento da pressão de contato	Diminui
	Repetição de cargas	Aumento	Diminui
	Água	Seco para molhado	Diminui se a mistura for sensível à água

Observações referentes ao Quadro 2.4:

(i) Refere-se à rigidez na qual a deformação permanente está sendo determinada. Modificadores de ligante podem ser adicionados para aumentar a rigidez a temperaturas críticas, de modo a reduzir o potencial de deformação permanente;

(ii) Quando o porcentagem do volume de vazios for inferior a 3%, o potencial de deformação permanente das misturas aumenta;

(iii) É discutido que valores muito baixos do Volume de Vazios no Agregado Mineral - VAM (menos que 10%, por exemplo) devem ser evitados;

(iv) O método de compactação, tanto no laboratório como in situ, pode influenciar a estrutura do sistema e consequentemente a deformação permanente.

Fonte: Adaptado de Souza *et al* (1991).

2.3.2 Ensaios para avaliação da deformação permanente

Os tipos de ensaios usualmente utilizados para caracterizar a resistência à deformação permanente das misturas asfálticas são os seguintes:

- ensaios de compressão simples: corpos de prova cilíndricos não confinados, com a aplicação de cargas estáticas ou repetidas;
- ensaios de compressão triaxial: corpos de prova cilíndricos confinados, com aplicação de cargas estáticas ou repetidas;
- ensaios de cisalhamento: corpos de prova cilíndricos, com aplicação de cargas estáticas ou repetidas, e;
- ensaios com cargas rolantes: placas elaboradas em laboratório ou à escala real.

Os ensaios com cargas rolantes foram desenvolvidos para simular a passagem repetida dos pneus estimando o afundamento de trilha de roda. No LCPC foi desenvolvido o simulador de tráfego francês *Orniéreur* (Figura 2.5). O ensaio consiste em determinar a formação de trilha de roda de duas placas de mistura asfáltica de 50cm de comprimento, 15cm de largura e 5cm de espessura, submetida à passagem repetida de um pneumático de eixo de roda simples sobre a placa, à frequência de 1Hz e à temperatura de 60°C.

Figura 2.5 – Equipamento *Orniéreur*.



Fonte: Elaboração própria.

O ensaio é interrompido quando o afundamento da trilha de roda atinge um valor superior a 10% da espessura da placa.

Para a avaliação do desempenho à deformação permanente da presente pesquisa, foi utilizado o equipamento da Figura 2.5.

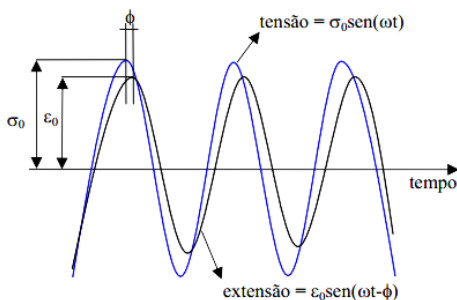
2.4 MÓDULO COMPLEXO DO CONCRETO ASFÁLTICO

Desde a década de 1960 o módulo complexo vem sendo pesquisado como uma alternativa para a caracterização reológica das misturas asfálticas. A importância de se considerar a viscosidade das misturas, bem como a possibilidade de contabilizar os efeitos de diferentes temperaturas e frequências de carregamento, faz com que o módulo complexo ($|E^*|$) venha sendo usado preferencialmente no exterior e, a partir do final da década passada, também no Brasil. O ensaio de módulo complexo pode ser usado para determinar tanto as características elásticas quanto as propriedades viscoelásticas lineares do material (BAAJ, 2002)

O módulo complexo pode ser definido pela relação entre a amplitude complexa da tensão sinusoidal da pulsação aplicada ao material (σ_0) e a amplitude complexa da deformação sinusoidal (ϵ_0) que resulta em regime estável. Em consideração à característica viscoelástica do material, a deformação apresenta uma defasagem com relação à tensão, o que é traduzido por um ângulo de fase entre os dois sinais (ϕ). Isso fornece parâmetros indicativos da predominância viscosa ou elástica do material (CLYNE *et al.*, 2003).

A Figura 2.6 representa a tensão aplicada (σ_0) e a deformação (ϵ_0) em um carregamento dinâmico apresentando um desfasamento em relação à carga (ϕ).

Figura 2.6 – Tensão (σ_0) e a deformação correspondente (ϵ_0) com o ângulo de fase (ϕ).



Fonte: Adaptado de Fontes (2009).

A determinação do módulo complexo consiste na aplicação de uma sequência de solicitações senoidais com diferentes frequências, podendo apresentar uma variação entre 0,1Hz e 30Hz e, também, diferentes

temperaturas, geralmente no intervalo entre -15°C e 40°C, em função da metodologia de ensaio utilizada (CLYNE *et al.*, 2003).

Ao analisar uma mistura asfáltica no domínio das baixas deformações, onde se espera um comportamento viscoelástico linear, uma tensão senoidal imposta origina uma resposta de deformação também senoidal, mas defasada por um ângulo de fase.

A Equação (2.3) apresenta uma tensão sinusoidal a uma frequência e amplitude aplicada.

$$\sigma = \sigma_0 \times \text{sen}(\omega \times t) \quad (2.3)$$

onde:

σ = tensão;

σ_0 = amplitude de tensão;

ω = velocidade angular ($2\pi\text{Fr}$) (rad/s), e;

t = tempo (s).

A resposta do material à solicitação aplicada resulta numa deformação que segue uma lei caracterizada pela mesma frequência, mas apresentando uma defasagem em relação à tensão aplicada. Por esta razão, a deformação resultante será sinusoidal, de modo que a defasagem é representada pelo ângulo de fase (ϕ) (ROBERTS *et al.*, 1996). A Equação (2.4) apresenta a deformação resultante.

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \times \text{sen}(\omega \times t - \phi) \quad (2.4)$$

onde:

ε = deformação;

ε_0 = amplitude de deformação;

ω = velocidade angular ($2\pi\text{Fr}$) (rad/s);

t = tempo (s), e;

ϕ = ângulo de fase (°).

A relação entre as amplitudes de tensão e deformação define o valor absoluto do módulo complexo, que é o módulo dinâmico $|E^*|$ e expressado através da Equação (2.5).

$$|E^*| = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} \quad (2.5)$$

O módulo complexo, pode ser dividido em duas componentes como o seguinte (CLYNE *et al.*, 2003):

- componente real, a qual representa a energia armazenada no material, que é expressa pela Equação (2.6).

$$E_1 = |E^*| \times \cos(\phi) \quad (2.6)$$

onde:

E_1 = componente real do módulo complexo;
e as demais variáveis já definidas anteriormente.

- componente imaginária representando a energia perdida por atrito interno, que é expressa através da Equação (2.7).

$$E_2 = |E^*| \times \sin(\phi) \quad (2.7)$$

onde:

E_2 = componente imaginária do módulo complexo;
e as demais variáveis já definidas anteriormente.

O módulo complexo pode também ser apresentado pelo seu valor em módulo ($|E^*|$) e pelo seu ângulo de fase (ϕ), respectivamente de acordo com as Equações (2.8) e (2.9).

$$|E^*| = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} \quad (2.8)$$

$$\phi = \arctan\left(\frac{E_2}{E_1}\right) \quad (2.9)$$

2.4.1 Ensaio de módulo complexo

O ensaio segue as diretrizes da norma europeia *EN 12697-26 - Bituminous Mixtures, Test Methods for Hot Mix Asphalt - Part 26: Stiffness* (EN, 2004b).

O ensaio é realizado mediante a aplicação de um carregamento composto por duas cargas verticais afastadas entre si por um terço do vão de viga, dando lugar à flexão do corpo de prova prismático. O carregamento sinusoidal alternado é conduzido sob deformação controlada. A amplitude da deformação é definida pela norma EN 12697-26 de tal forma de não ocasionar dano no corpo de prova. O ensaio é conduzido a uma amplitude máxima de deformação por flexão de 50µm/m.

A rigidez da mistura é determinada à frequência de carregamento de 0,1 Hz, 0,2 Hz, 0,5 Hz, 1 Hz, 2 Hz, 5 Hz, 10 Hz, 20 Hz e 0,1 Hz novamente. A frequência de 0,1 Hz é retomada ao final da varredura para verificar se o corpo de prova não foi danificado no decorrer dos

carregamentos às diversas frequências, não devendo diferir mais que 3%, segundo a norma.

As temperaturas de teste abrangem temperaturas de 0°C, 5°C, 10°C, 15°C, 20°C, 25°C e 30°C. Nesta perspectiva, para além de certos níveis de deformação, o comportamento não linear pode ser exibido pelo material. Em tal caso, a proporcionalidade entre tensão e deformação não é mais válida e o conceito definido de módulo complexo já não caracteriza o fenómeno. Este limite depende do material, mas também varia com a temperatura para um dado material.

A partir deste ensaio, é obtido para cada frequência e temperatura experimentada, o módulo complexo, o ângulo de fase, a energia dissipada por ciclo, assim como a energia dissipada acumulada.

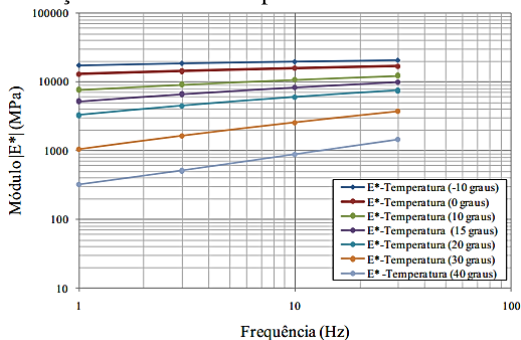
2.4.2 Representação e interpretação do módulo complexo

Os componentes do módulo complexo variam em função da temperatura e da frequência com que é aplicada a solicitação. Variam em cada ensaio de -10°C até 40°C e de 1Hz até 40Hz, e os resultados experimentais são usualmente expressos com a ajuda de representações clássicas (BAAJ, 2002).

2.4.2.1 Curvas isotérmicas

As curvas isotérmicas relacionam os valores da norma do módulo complexo $|E^*|$ em função da frequência para cada temperatura do ensaio, ambos em escala logarítmicas (BAAJ, 2002). O parâmetro de avaliação de uma mistura asfáltica, nesse caso, é a sua suscetibilidade cinética (a variação de módulo com a velocidade de solicitação). A Figura 2.7 apresenta um exemplo desta interpretação.

Figura 2.7 – Representação do módulo complexo em curvas isotérmicas.



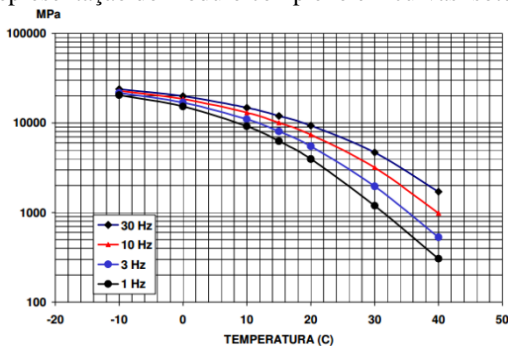
Fonte: Adaptado de Momm (1998).

A inclinação da isotérmica possibilita estimar a susceptibilidade cinética a uma dada temperatura, isto é, à variação do módulo com a duração da sollicitação (BAAJ, 2002).

2.4.2.2 Curvas isócronas

As curvas isócronas, representadas na Figura 2.8, relacionam o módulo complexo para cada nível de frequência em função da temperatura, em escala logarítmica. As curvas isócronas permitem visualizar a susceptibilidade térmica dos concretos asfálticos em função da temperatura (MOMM, 1998).

Figura 2.8 – Representação do módulo complexo em curvas isotérmicas.

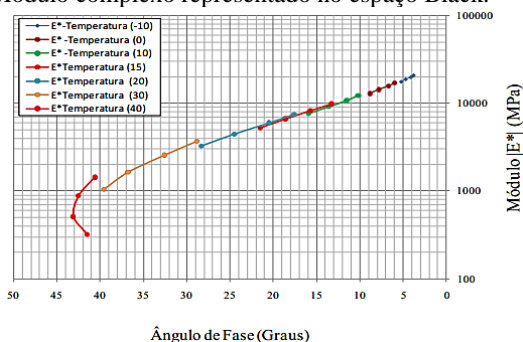


Fonte: Adaptado de Momm (1998).

2.4.2.3 Curvas no espaço Black

O espaço de Black é um gráfico que relaciona o módulo complexo em escala logarítmica, com o ângulo de defasagem em escala aritmética, conforme ilustra a Figura 2.9. Nesta representação permite visualizar a região dos módulos de valores pequenos e, em particular, a diminuição do ângulo de fase para as condições de temperatura elevada (BAAJ, 2002).

Figura 2.9 – Módulo complexo representado no espaço Black.



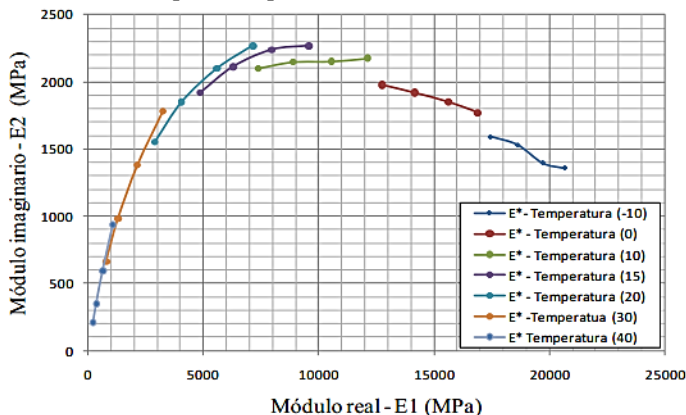
Fonte: Adaptado de Momm (1998).

2.4.2.4 Curvas no plano Cole-Cole

Consiste em representar a parte real (E_1) do módulo complexo, em função da parte imaginária (E_2), em coordenadas aritméticas. Esta curva é característica do material estudado, obtendo-se uma curva única semelhante a um semiarco, independente da frequência e da temperatura, sendo utilizada para entender o comportamento reológico da mistura (BAAJ, 2002).

O ponto máximo da parte imaginária fornece uma indicação da temperatura crítica para a fadiga da mistura asfáltica (FONTES, 2009). Um exemplo desta representação é ilustrado na Figura 2.10.

Figura 2.10 – Módulo complexo no plano Cole-Cole.



Fonte: Adaptado de Momm (1998).

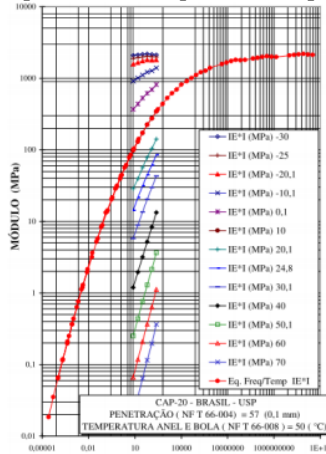
2.4.2.5 Curvas equivalência Frequência-Temperatura

A curva de equivalência de Frequência-Temperatura caracteriza a viscoelasticidade do concreto asfáltico, isto é, uma curva horizontal representa uma mistura asfáltica com comportamento puramente elástico, ou, caso contrário, uma curva bem próxima da vertical mostra o comportamento de uma mistura asfáltica muito suscetível às variações de temperatura e de frequência (MOMM, 1998).

Para sua construção as diferentes curvas produzidas no ensaio podem ser trasladadas horizontalmente tomando como base uma temperatura de referência (T_R). Esta temperatura é escolhida para a construção de uma única curva representativa, isto é, com a utilização de diversos modelos de ajuste (Arrhenius, William-Landel-Ferry ou gráfico) para a translação das curvas de forma paralela ao eixo das abscissas.

O princípio de equivalência de Frequência-Temperatura permite também obter os valores de módulo para as frequências inacessíveis experimentalmente, ou seja, de valores muito baixos (< 1 Hz), conforme mostra a Figura 2.11.

Figura 2.11 – Curva de equivalência Freqüência-Temperatura.



Fonte: Adaptado de Momm (1998).

A translação das curvas isotérmicas pode ser realizada de três maneiras:

a) Translação pela Equação de Arrhenius

A translação pela equação de Arrhenius deve-se determinar o coeficiente de translação (a_T), conforme Equação (2.10).

$$\text{Log} a_T = \frac{\delta H}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_R} \right) \quad (2.10)$$

onde:

a_T = Coeficiente de translação;

δH = energia de ativação aparente característica do material;

R = constante universal dos gases;

T = temperatura (K), e ;

T_R = temperatura de referência (K).

b) Translação pela Equação de William-Landel-Ferry

A translação pela equação de William-Landel-Ferry deve-se determinar o coeficiente de translação (a_T), conforme Equação (2.11).

$$\text{Log} a_T = \frac{-C_1(T - T_R)}{(T - T_R) + C_2} \quad (2.11)$$

onde:

a_T = Coeficiente de translação;

C_1 e C_2 = Constantes dependentes do material;

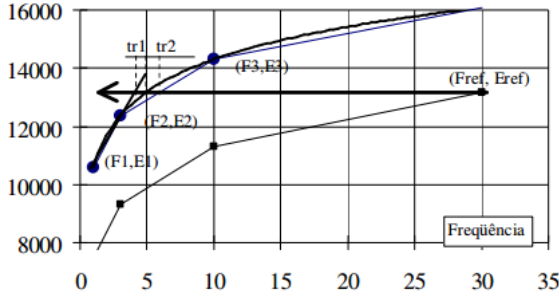
T = temperatura (K), e;

T_R = temperatura de referência (K).

c) *Translação pelo método gráfico*

A translação das curvas isotérmicas pode ser feita com a translação de cada uma das curvas isotérmicas e de cada temperatura, de modo a construir uma curva de equivalência de Frequência-Temperatura contínua, sobrepondo as frequências com módulos de mesmo valor. A translação é determinada nas Equações de (2.12) à (2.15), e conforme mostra a Figura 2.12.

Figura 2.12 – Translação gráfica de curvas isotérmicas.



Fonte: Adaptado de Momm (1998).

$$tr_1 = e^{- \left[\frac{\ln(F2) + \ln\left(\frac{F2}{F1}\right)}{\ln(F1) + \ln\left(\frac{E2}{E1}\right)} \right] \ln\left(\frac{E_{ref}}{E1}\right)} \quad (2.12)$$

$$tr_2 = e^{- \left[\frac{\ln(F3) + \ln\left(\frac{F3}{F2}\right)}{\ln(F2) + \ln\left(\frac{E3}{E2}\right)} \right] \ln\left(\frac{E_{ref}}{E2}\right)} \quad (2.13)$$

$$tr_m = \frac{(tr_1 + tr_2)}{2} \quad (2.14)$$

$$\ln(\alpha_T) = \ln \left(\frac{F_{ref}}{tr_m} \right) \quad (2.15)$$

onde:

tr_1, tr_2 = Coeficiente de ajuste da translação;

F_i, E_i = pontos (frequência, módulo);

tr_m = fator de translação.

2.5 FADIGA EM PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

O fenômeno da fadiga é definido como o processo da mudança estrutural permanente, progressiva e localizada que ocorre em um ponto de material sujeito a tensões de amplitudes variáveis que produzem as fissuras que conduzem para totalizar a falha após um determinado número de ciclos (ASTM, 2013b).

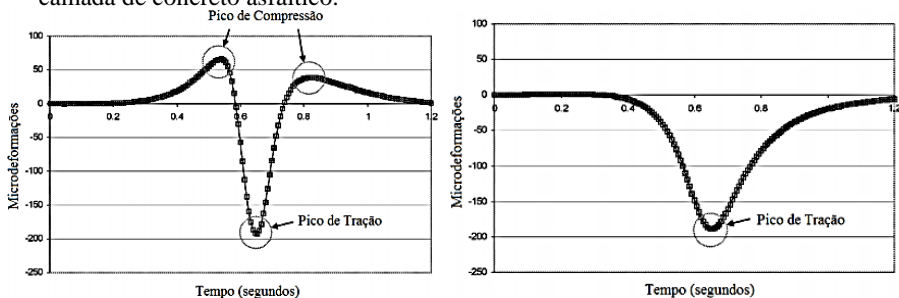
A causa do fendilhamento da camada do revestimento foi por muito tempo atribuída às excessivas deformações plásticas do solo ou das camadas de base e sub-base. Contudo, verificou-se que as fissuras resultam, predominantemente, das elevadas deflexões reversíveis a que são submetidos os pavimentos, repetidas vezes, não necessariamente acompanhadas de significativas deformações plásticas (PINTO, 1991).

2.5.1 Tipos de solicitações

De modo a caracterizar a resistência à fadiga de uma mistura asfáltica, é necessário avaliar esse comportamento sob estado de tensão semelhante ao encontrado *in situ*.

O estudo desenvolvido por Perret (2003) mostrou que os sinais de deformações podem ser divididos em duas direções: longitudinal e transversal. Os sinais de deformação longitudinal e transversal diferenciam-se entre si quanto a sua forma e pelos picos de alternância. Quando da passagem da carga, a deformação longitudinal apresenta alternância de sinal entre compressão e tração (Figura 2.13a), enquanto, que o sinal das deformações transversais não apresenta modificação (Figura 2.13b).

Figura 2.13 – Sinal da deformação longitudinal e transversal na fibra inferior da camada de concreto asfáltico.



a) Sinal de deformação longitudinal
Fonte: Adaptado de Perret (2003).

b) Sinal de deformação transversal

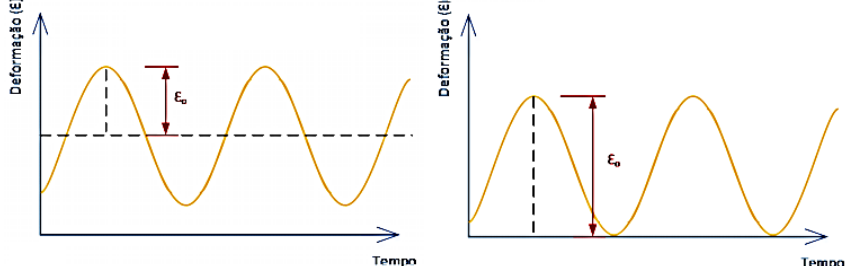
Contudo, os picos de alternância (tração e compressão) não apresentam proporcionalidade em sua magnitude e dependem diretamente da espessura da camada de revestimento asfáltico e da estrutura do pavimento.

A obtenção deste tipo de sinal nos ensaios de fadiga em laboratório é difícil, pois a amplitude das deformações e das tensões dos sinais obtidos pela passagem do eixo pode variar em função do tipo de tráfego e das condições climáticas (MOMM, 1998).

2.5.2 Modos de carregamento nos ensaios de fadiga

Em laboratório aplicam-se ciclos de carga que se mantêm iguais ao longo do tempo. As formas de onda mais usadas na caracterização da mistura e no desenvolvimento de modelos de previsão de resistência à fadiga são a sinusoidal e o Haversine, conforme mostra a Figura 2.14 (SAID, 1988).

Figura 2.14 – Formas de carregamentos utilizadas em ensaios de fadiga.



a) Sinusoidal (flexão alternada)

b) Haversine (Pulsatório)

Fonte: Adaptado de Said 1988 (*apud* FONTES, 2009).

Em laboratório, os ensaios de fadiga são realizados em dois modos diferentes de carregamento: deformação controlada (deslocamento) ou tensão controlada (força).

No modo de deformação controlada, a amplitude da deformação é mantida constante durante o ensaio, e a força necessária para a manutenção do nível de deformação inicial diminui gradualmente, na medida em que a rigidez de flexão da mistura é efetivamente reduzida. O ponto de terminação é comumente selecionado com certa redução na rigidez inicial comparada ao início do ensaio, geralmente de 50% (HARRIGAN *et al.*, 1994).

No modo de carregamento sob tensão controlada, a carga ou a amplitude da tensão permanece constante durante o ensaio. Devido à aplicação repetitiva da tensão, a amplitude da deformação aumenta até atingir o dobro da amplitude inicial. O ponto de terminação é geralmente selecionado após a nucleação a trinca.

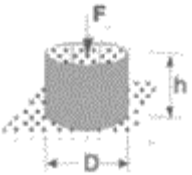
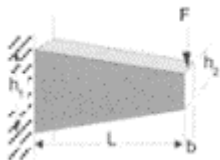
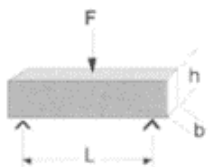
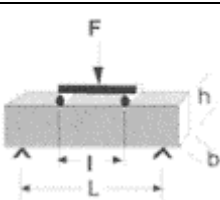
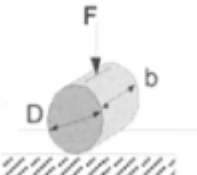
Segundo Medina e Motta (2005), a solicitação a tensão controlada é a que ocorre em pavimentos de revestimento asfáltico muito mais rígidos do que a camada de base e que ao resistirem às cargas determinam a magnitude das deformações. A solicitação à deformação controlada corresponde melhor a pavimentos de revestimento delgado e fraco em relação à base; embora adicionando alguma resistência, o revestimento tem sua deformação controlada pela deformabilidade das camadas subjacentes.

2.5.3 Ensaios de fadiga

Diferentes metodologias de ensaios foram desenvolvidas ao longo das últimas décadas para caracterizar o comportamento à fadiga de misturas de concreto de asfáltico. A seleção de qualquer método de ensaio

pode ser influenciada pela disponibilidade e custo do equipamento, para além da facilidade de utilização. A Figura 2.15 ilustra diferentes tipos de ensaios de fadiga.

Figura 2.15 – Diferentes tipos de ensaios de fadiga.

Tipo	Geometria	Tipo de carregamento	Amplitude (10^{-6} m/m)
T/C		Tensão/Compressão	Deformação: 80, 100, 140, 180
2PB		Flexão de 2 pontos	Deslocamento; máx. deformação: 140, 180, 220
3PB		Flexão de 3 pontos	Deslocamento; máx. deformação: 140, 180, 220
4PB		Flexão 4 pontos	Deslocamento; máx. deformação: 140, 180, 220
1TT		Tensão indireta	Carga; máxima deformação no primeiro ciclo ≈ 25 , ≈ 40 , ≈ 65

Fonte: Adaptado de (BENEDETTO *et al.*, 2004).

No ensaio rotacional, amostras cilíndricas com seção reduzida no centro são submetidas a uma carga constante através de um fio conectado em uma das extremidades. A rotação da amostra e a carga constante na extremidade produzem tensões de compressão e de tração senoidais nos pontos da fibra externa, rompendo a amostra no ponto de solicitação máxima (ZEIADA, 2012).

No ensaio de tração direta, amostras retangulares são comprimidas e tracionadas axialmente.

O ensaio de flexão consiste em submeter uma vigota retangular simplesmente apoiada a duas cargas simétricas em relação ao centro da vigota, que produzem um estado de tração uniforme na parte central do bordo inferior da vigota, abaixo da linha neutra, entre os dois pontos da carga. Nos ensaios de compressão diametral ou tração indireta, as amostras são solicitadas ao longo do diâmetro vertical. O ensaio de flexão em viga quatro pontos será utilizado na presente pesquisa.

2.5.4 Métodos de análise da resposta à fadiga

A análise da resistência à fadiga pode ser feita de formas diferentes, seja através da análise clássica ou da energia dissipada, entre outros.

2.5.4.1 Modelos gerais de fadiga

Os resultados dos ensaios de fadiga são geralmente interpretados em termos de uma relação entre a tensão aplicada, ou deformação, e a resistência à fadiga. Para a abordagem em termos de deformação, tal como recomendado pelo SHRP, isto resulta em uma relação da seguinte forma, conforme a Equação (2.16):

$$N_f = k_1 \left(\frac{1}{\varepsilon_t} \right)^{k_2} \quad (2.16)$$

onde:

N_f = Número de solicitações para atingir o critério de ruptura adotado;

ε_t = deformação de tração inicial; e,

k_1, k_2 = coeficientes determinados experimentalmente.

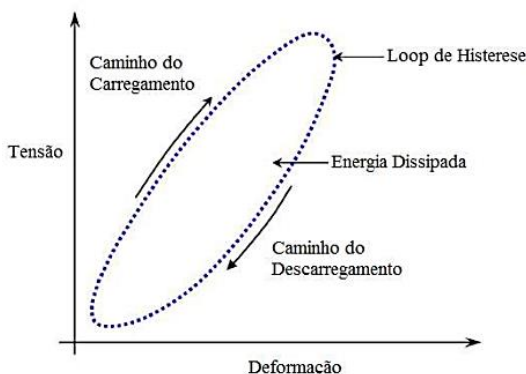
Embora amplamente utilizada, a abordagem clássica é essencialmente uma abordagem empírica e não proporciona uma relação entre a carga e qualquer forma de acumulação de danos no concreto asfáltico. A abordagem também não pode ser diretamente aplicada os

cenários de carregamento complexo, tais como aqueles normalmente observados em campo (HARRIGAN *et al.*, 1994).

2.5.4.2 Abordagem da Energia Dissipada

Na análise da resistência à fadiga através da energia dissipada tem-se que, para cada ciclo de carga, para um corpo de prova ensaiado sob a ação de uma carga pulsatória, é igual à área dentro do ciclo de histerese tensão-extensão, como apresenta a Figura 2.16.

Figura 2.16 – Curva tensão - deformação de materiais viscoelásticos.



Fonte: Adaptado de Zeiada (2012).

Para materiais não puramente elásticos, o processo de carga e descarga está associado à dissipação de energia, uma vez que os caminhos de carga e descarga não se sobrepõem, caracterizando um fenômeno chamado de histerese. A energia dissipada para cada ciclo de carga e descarga pode ser definida como a área no interior do loop de histerese tensão-deformação. Os danos por fadiga estão relacionados com a energia que é dissipada na amostra durante o ensaio (ZEIADA, 2012).

De modo geral, a abordagem da energia dissipada é considerada adequada para concretos asfálticos, tal como a energia dissipada pode ser usada para explicar a diminuição das propriedades mecânicas durante o ensaio (redução da rigidez, por exemplo). A energia dissipada por unidade de volume por ciclo é determinada de acordo com a Equação (2.17), e pode ser calculada em termos de tensão ou deformação controlada, conforme as equações (2.18) e (2.19), respectivamente.

$$W_i = \pi \sigma_i \varepsilon_i \text{sen} \delta_i \quad (2.17)$$

No caso de tensão controlada, tem-se: $\sigma_i = \sigma_0$ e $\varepsilon_i = \frac{\sigma_0}{E^*}$, logo:

$$W_i = \pi \sigma_0^2 \left(\frac{1}{|E_i^*| \text{sen} \delta_i} \right) \quad (2.18)$$

No caso de deformação controlada, tem-se: $\varepsilon_i = \varepsilon_0$ e $\sigma_i = \varepsilon_0 E^*$, logo:

$$W_i = \pi \varepsilon_0^2 |E_i^*| \text{sen} \delta_i \quad (2.19)$$

onde:

W_i = energia dissipada no ciclo de carga, i;
 σ_0 = amplitude da tensão inicial (constante);
 σ_i = amplitude da tensão no ciclo de carga, i;
 ε_0 = amplitude da deformação inicial (constante);
 ε_i = amplitude da deformação no ciclo de carga, i;
 δ_i = ângulo de fase entre os sinais de tensão de deformação no ciclo de carga, i; e,
 $|E_i^*|$ = módulo complexo no ciclo de carga, i.

Cabe ressaltar que este conceito de energia dissipada também é utilizado pela especificação Superpave de ligantes asfálticos.

2.6 MODELOS DE DESEMPENHO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

Desempenho de um pavimento é a capacidade de atender suas funções com o uso e no decorrer do tempo. Segundo Haas *et al.* (2015), o entendimento dos mecanismos que regem o processo de deterioração de um pavimento é condição essencial para a identificação das causas que o levaram a sua condição atual.

Os modelos de desempenho são estabelecidos para prever a velocidade com que os valores dos parâmetros da condição funcional e estrutural dos pavimentos variam em função das solicitações do tráfego e das condições climáticas (BASÍLIO, 2002).

Uma vez que cada região apresenta características distintas, é recomendável utilizar modelos de previsão de desempenho próprios, obtidos a partir de parâmetros auscultados periodicamente. Desta forma, os modelos de desempenho representarão de melhor forma possível as condições locais (PATERSON, 1987; NASCIMENTO, 2005).

Entretanto, se a opção for pela utilização de modelos de desempenho oriundos de outras regiões, Oliveira (2007) recomenda proceder à devida calibração de cada situação ou região em que estão sendo utilizados. Em consequência, o uso destes modelos pode ocasionar sérios equívocos em situações diferentes daquelas para as quais os modelos foram desenvolvidos.

Na continuação, apresentam-se em ordem cronológica, alguns dos modelos de previsão de desempenho desenvolvidos no Brasil.

2.6.1 Modelos de desempenho desenvolvidos por Queiroz (1981)

Queiroz (1981), desenvolveu modelos de previsão de desempenho a partir da base de dados levantada para a Pesquisa de Inter-Relacionamento de Custos de Construção, Conservação e Utilização de Rodovias (PICR), iniciada em 1975. Os dados de campo utilizados provêm de 63 seções da malha rodoviária localizadas nos estados de Goiás, Minas Gerais, São Paulo e Distrito Federal. As variáveis dependentes, consideradas nas equações que expressam os modelos, foram: irregularidade longitudinal, trincamento e pequenos remendos, bem como profundidade das trilhas de roda.

O modelo apresentado na Equação (2.20), correlaciona a irregularidade com as deflexões dos pavimentos, obtidas com a viga Benkelman, e a Equação (2.21), correlaciona com o número estrutural e a deflexão em conjunto.

$$\begin{aligned}
 QI &= 21,8 - 7,52ER + 5,16TR + 0,515IDADE + \\
 &\quad 7,22 \times 10^{-5} (D_{VB} \times \log NA)^2 \\
 R^2 &= 0,48
 \end{aligned}
 \tag{2.20}$$

$$\begin{aligned}
 QI &= 12,63 - 5,16ER + 3,31TR + 0,393A + 8,66 \left(\frac{\log NA}{SNC} \right) + \\
 &\quad 7,17 \times 10^{-5} (B \times \log NA)^2 \\
 R^2 &= 0,52
 \end{aligned}
 \tag{2.21}$$

onde:

QI = Quociente de irregularidade (contagem/km);

ER = variável que indica se o pavimento é restaurado ou não

$ER=0$ original, $ER=1$ restaurado;

$IDADE$ = idade do pavimento desde a construção ou reabilitação (anos);

TR = variável que indica o tipo de revestimento

TR=0 mistura asfáltica, TR=1 tratamento superficial;
 NA = número equivalente acumulado de solicitações do eixo padrão de 8,2 tf, calculado com os fatores de equivalência de carga da AASHTO;
 D_{VB} = deflexão com viga Benkelman (10^{-2} mm);
 SCN = número estrutural corrigido.

A utilização do número estrutural corrigido, Equação (2.22), leva em conta a resistência do subleito avaliada pelo CBR.

$$SNC = SN + 3,51 \log CBR - 0,85(\log CBR)^2 - 1,43 \quad (2.22)$$

onde:

SN = Número estrutural;
 CBR = índice de suporte Califórnia do subleito, nas condições de umidade e peso específico aparente *in situ* (%).

O modelo para prever a porcentagem de área trincada em pavimentos flexíveis é apresentado na Equação (2.23).

$$\begin{aligned} CR &= -18,53 + 0,0456(D_{VB} \times \log NA) + \\ &\quad 0,00501(D_{VB} \times IDADE \times \log NA) \\ R^2 &= 0,64 \end{aligned} \quad (2.23)$$

onde:

CR = Porcentagem de área trincada do pavimento com trincas tipo 2 e 3 e remendos.

2.6.2 Modelos de desempenho desenvolvidos por Paterson (1987)

Paterson (1987) desenvolveu modelos de previsão dos principais defeitos dos pavimentos, tais como trincamento, irregularidade e afundamento de trilha de roda. Baseou-se nos dados da pesquisa PICR coletados no Brasil. Os modelos foram determinados por procedimentos estatísticos de regressão aliados, em alguns casos, a conceitos mecânicos de comportamento de pavimentos.

Salienta-se que no programa *Highway Design and Maintenance Standards Model* (HMD-III), foram utilizados modelos desenvolvidos por Paterson (1987). Devido ao grande número de equações incluídas no HDM III, para este trabalho são apresentadas aquelas equações de possível uso em função das características dos dados disponíveis.

A progressão da irregularidade provocada pela deterioração para qualquer tipo de revestimento, é representada na Equação (2.24)

$$IRI(t) = \left[IRI_0 + 725(1 + SNC)^{-4,99} \times NA \right] \times e^{0,0153 \cdot IDADE} \quad (2.24)$$

$$R^2 = 0,75$$

onde:

$IRI(t)$ = Irregularidade longitudinal do pavimento para determinada idade (m/km);

IRI_0 = irregularidade longitudinal inicial (m/km);

SNC = número estrutural corrigido;

NA = número equivalente acumulado de solicitações do eixo padrão de 8,2 tf, calculado pelos fatores de equivalência de carga da AASHTO (milhões por faixa); e,

$IDADE$ = idade do pavimento desde a construção ou restauração (anos).

Para o afundamento de trilha de roda, por sua vez, Paterson desenvolveu o modelo apresentado nas Equações (2.25) e (2.26).

$$TRI = 1,0 \times IDADE^{0,166} \times SNC^{-0,502} \times COMP^{-2,30} \times NA^{ERM} \quad (2.25)$$

$$R^2 = 0,42 \text{ com}$$

$$ERM = 0,0902 + 0,0384 \times DEF - 0,009 \times RH + 0,00158 \times MMP \times CRX \quad (2.26)$$

onde:

TRI = Profundidade média das trilhas de roda (mm);

$IDADE$ = idade do pavimento desde a construção, restauração ou reconstrução (anos);

SNC = número estrutural corrigido;

$COMP$ = índice de compactação definido como a compactação relativa média ponderada pela espessura da camada;

NA = número equivalente acumulado de solicitações do eixo padrão de 8,2 tf, calculado pelos fatores de equivalência de carga da AASHTO;

DEF = deflexão máxima média medida com viga Benkelman (10^{-2} mm);

RH = variável que indica se o pavimento é restaurado ou não
 $RH=0$ pavimento original, $RH=1$ pavimento restaurado;

MMP = precipitação média mensal (m/mês), e;

CRX = área de trincamento indexado.

Para a aplicação das Equações (2.25) e (2.26), os dados disponíveis e valores padrões (COMP, CRX) são:

$COMP = 0,972$ valor médio determinado na PICR (PATERSON, 1987);
 CRX = este índice é considerado igual a 0 para idades menores que 6 anos e igual a 21,6 para idades maiores, correspondendo ao valor médio determinado com os dados da PICR (PATERSON, 1987), para pavimentos com revestimento de concreto asfáltico.

A estimativa da área trincada através do número equivalente de operações do eixo padrão, calculado pelo método AASHTO, suportado pelo pavimento desde o início do trincamento, é dada pela Equação (2.27).

$$ATR = (1 - z) \times 50 + z \left[z \times a \times b \times NE_{ci} + z \times 0,5^b + (1 - z) \times 50^b \right]^{1/b} \quad (2.27)$$

$$R^2 = 0,43$$

onde:

ATR = Trincamento total (%);

z = variável de controle

$z=1$ se $t_{ci} \leq t_{50}$, $z=-1$ em outros casos;

t_{50} = tempo em que a área trincada chega a 50% (anos);

a, b = coeficientes estatísticos

$a = 450SNC^{-2,27}$ e $b=0,65$ valores determinados por regressão para revestimentos em concreto asfáltico (PATERSON, 1987);

NE_{ci} = número equivalente acumulado de operações do eixo padrão desde o início do trincamento, em milhões.

Para a aplicação da Equação (2.27) considerou-se como início do trincamento o momento em que o somatório das áreas afetadas pelas trincas FC1, FC2 e FC3 atinge 0,5% total da superfície do pavimento

2.6.3 Modelos de desempenho desenvolvidos por Marcon (1996)

Marcon (1996), estabeleceu modelos de previsão de desempenho reunindo dados de levantamentos de 2.500km da malha rodoviária do estado de Santa Catarina. Na análise das tendências de desempenho, o autor relaciona a irregularidade longitudinal, deflexões, índice de gravidade global, trincamento e afundamento de trilha de roda com a

idade ou o número equivalente de operações do eixo padrão calculado pelo método da AASHTO.

Entre as características dos trechos estudados pelo autor, 83,8% apresentam revestimento de CBUQ, em 86,3% do total a base era formada por brita graduada, e em 45,2% da extensão estudada a sub-base era composta por macadame seco. As características gerais dos materiais e camadas que compõem os trechos estudados por Marcon (1996) são semelhantes a três dos quatro segmentos estudados nesta dissertação (segmentos monitorados de Urubici).

Os modelos são agrupados segundo a divisão geológica do estado de Santa Catarina, que contempla três grandes regiões, como pode se observar na Figura 2.17.

- Região 1 - Esta região do estado é constituída por rochas de embasamento cristalino, ou seja, por rochas ígneas como o granito, metamórficas de alto grau de metamorfismo, como granulitos e gnaisses. De forma geral, apresentam solos com valores de índice de suporte de razoável a bom e baixa expansão, quando submetidos ao ensaio de ISC (Índice de Suporte Califórnia).
- Região 2 - Gonduânicas Sedimentares - cujos solos são formados pela decomposição de rochas sedimentares como argilitos, siltitos e arenitos. Os solos originados da decomposição de rochas sedimentares da categoria gonduânica apresentam, geralmente, baixos índices de suporte e expansão elevada.
- Região 3 - Gonduânicas Vulcânicas, região formada por rochas vulcânicas do tipo basalto com algumas ocorrências pequenas e localizadas de rochas ácidas do tipo riodacito. Os solos originados da decomposição de rochas basálticas e de riodacitos, de uma maneira geral, apresentam valores de índice de suporte razoáveis e expansão abaixo de 2%.

Os modelos a utilizar neste trabalho abrangem a Região (1) para o segmento monitorado de Itapoá, e a Região (2) para o segmento monitorado de Urubici.

Figura 2.17 – Localização dos segmentos monitorados, segundo a região geológica em Santa Catarina.



Fonte: Adaptado de Marcon 1996 (*apud* OLIVEIRA, 2007).

- *Modelos de desempenho para a Região 1*

A estimativa da irregularidade longitudinal é apresentada na Equação (2.28).

$$QI = 25,798 + 6,0 \times 10^{-6} \times NA - 3,0 \times 10^{-13} \times NA^2 \quad (2.28)$$

$$R^2 = 0,69$$

A estimativa da deflexão máxima média é apresentada na Equação (2.29).

$$DEFM = 26,097 \times NA^{0,0954} \quad (2.29)$$

$$R^2 = 0,19$$

A estimativa do Índice de Gravidade Global (IGG) é apresentada na Equação (2.30).

$$IGG = 0,51 \times IDADE^2 - 3,24 \times IDADE + 16,86 \quad (2.30)$$

$$R^2 = 0,54$$

A estimativa da porcentagem de área com trincamento total (ATR) é apresentada na Equação (2.31).

$$ATR = 0,039 \times IDADE^{3,1215} \quad (2.31)$$

$$R^2 = 0,48$$

A estimativa da profundidade média das trilhas de roda é apresentada na Equação (2.32).

$$TRI = 0,1262 \times NA^{0,2397} \quad (2.32)$$

$$R^2 = 0,28$$

- *Modelos de desempenho para a Região 2*

A estimativa da irregularidade longitudinal é apresentada na Equação (2.33).

$$QI = 25,783 + 4,0 \times 10^{-6} \times NA - 5,0 \times 10^{-14} \times NA^2 \quad (2.33)$$

$$R^2 = 0,32$$

A estimativa da deflexão máxima média é apresentada na Equação (2.34).

$$DEFM = 44,928 + 1,0 \times 10^{-5} \times NA \quad (2.34)$$

$$R^2 = 0,50$$

A estimativa do Índice de Gravidade (IGG) é apresentada na Equação (2.35).

$$IGG = 8,7647 + 2,0 \times 10^{-5} \times NA - 1,0 \times 10^{-12} \times NA^2 \quad (2.35)$$

$$R^2 = 0,61$$

A estimativa da porcentagem de área com trincamento total (ATR) é apresentada na Equação (2.36).

$$ATR = 1,5124 \times IDADE - 6,8923 \quad (2.36)$$

$$R^2 = 0,32$$

A estimativa da profundidade média das trilhas de roda é apresentada na Equação (2.37).

$$TRI = 1,828 + 0,2325 \times IDADE \quad (2.37)$$

$$R^2 = 0,28$$

onde:

QI = Quociente de irregularidade (cont./km);

DEFM = deflexão máxima média (10^{-2} mm);

IGG = índice de gravidade global;

ATR = percentual de área do pavimento com trincamento total (%);

TRI = profundidade de trilha de roda (mm);

NA = número equivalente acumulado de solicitações do eixo padrão de 8,2 tf, calculado pelos fatores de equivalência de carga da AASHTO, e;

IDADE = idade do pavimento desde a construção (anos).

2.6.4 Modelos de desempenho desenvolvidos por Yshiba (2003)

Baseado nos dados históricos de avaliações da condição da malha rodoviária do Estado de Paraná, Yshiba (2003) agrupou as seções inventariadas numa matriz fatorial, com o objetivo de identificar os fatores e interações que possuam efeito significativo sobre os parâmetros de desempenho dos pavimentos.

Entre as características da estrutura do pavimento que o autor considerou nesta análise destacam-se: revestimento em concreto asfáltico com espessuras entre 3 e 10cm, base em brita graduada com espessuras entre 10 e 20cm e sub-base granular com espessuras entre 10 e 30cm.

Os modelos estatísticos desenvolvidos, foram estabelecidos através da análise de variância (ANOVA), permitindo a determinação do nível de significância de fatores pré-selecionados. Considerou-se, como variáveis independentes, o tráfego, a idade e a estrutura dos pavimentos, e como variáveis dependentes, a irregularidade longitudinal e condição estrutural.

Os modelos de desempenho desenvolvidos para pavimentos originais, são apresentados nas Equações (2.38) e (2.39).

$$\begin{aligned} IRI &= 2,8 + 0,38P(I) + 0,31P(N) - 0,16P(S) + \\ &\quad 0,09P(I)P(N) - 0,08P(I)P(S) \\ R^2 &= 0,75 \end{aligned} \quad (2.38)$$

$$\begin{aligned} DEF &= 56,0 + 8,7P(I) + 4,25P(N) - 4,75P(S) + 1,81P(I)P(S) \\ R^2 &= 0,62 \end{aligned} \quad (2.39)$$

onde:

IRI = Irregularidade longitudinal (m/km);

DEF = deflexão determinada com viga Benkelman (10^{-2} mm);

$P(I) = \frac{I-13}{8}$, sendo I a idade do revestimento (anos);

$P(N) = \frac{N-5 \times 10^4}{10^5}$, número equivalente acumulado de solicitações do eixo padrão de 8,2 tf, calculado pelos fatores de equivalência de carga da AASHTO;

$P(S) = \frac{S-5,5}{2}$, sendo S o número estrutural corrigido.

Comparado com os modelos desenvolvidos por Queiroz (1981), Paterson (1987) e Marcon (1996), observa-se melhores coeficientes de determinação.

2.6.5 Modelos de desempenho desenvolvidos por Oliveira (2007)

Oliveira (2007), desenvolveu linhas de tendência para a previsão da evolução da deflexão, trincamento total e irregularidade longitudinal dos pavimentos. Para esta análise utilizou-se os dados coletados nos anos de 1990, 1995, 1997 e 2001, provenientes do Sistema de Administração de Manutenção (SAM) do Sistema de Gerência de Pavimentos do então Departamento de Estradas de Rodagem de Santa Catarina (DER/SC), atual Departamento Estadual de Infraestrutura (DEINFRA-SC).

A determinação das linhas de tendência foi realizada através de análise de regressão linear múltipla. Considerou-se como variáveis independentes a idade do pavimento e o número $N_{8,2tf}$, e como variáveis dependentes a irregularidade longitudinal, deflexão máxima média com viga Benkelman e trincamento total.

A análise de desempenho efetuada por Oliveira (2007), agrupa a malha de pavimentos estudados em famílias, diferenciando-os segundo os tipos de materiais constituintes da estrutura, além de utilizar a divisão geográfico/geológica do estado baseada na metodologia proposta por Marcon (1996).

Segundo a divisão de famílias proposta pelo autor, os modelos de desempenho que apresentam maior similitude com os segmentos a ser analisados nesta dissertação são os pertencentes à família F1-subfamília S1. Este tipo de família, apresenta trechos com sub-base em macadame seco (MS), base em brita graduada (BG) e revestimento em concreto asfáltico (CAUQ).

O modelo de previsão para a deflexão máxima com Viga Benkelman, pode ser observado na Equação (2.40).

$$DEF = -5,952E - 06 \times NA + 2,334 \times IDADE + 2,262 \times H_{revest} + 0,018 \times VMD - 26,116 \quad (2.40)$$

$$R^2 = 0,90$$

O modelo de previsão para a irregularidade longitudinal, é apresentado na Equação (2.41).

$$IRI = 1,157E - 06 \times NA + 0,033 \times IDADE - 0,085 \times H_{revest} - 0,0001 \times VMD + 2,357 \quad (2.41)$$

$$R^2 = 0,79$$

O modelo de previsão para o trincamento total, pode ser observado na Equação (2.42).

$$TRINCA = 1,139E - 05 \times NA + 0,350 \times IDADE + 2,185 \times H_{revest} - 0,008 \times VMD - 10,387 \quad (2.42)$$

$$R^2 = 0,62$$

onde:

DEF = Deflexão máxima média efetuada com Viga Benkelman (10^{-2} mm);

IRI = irregularidade longitudinal (m/km);

TRINCA = trincamento total (%);

NA = número equivalente de operações de eixo, calculado pelo método da AASHTO ($N_{8.2t}$ AASHTO);

IDADE = idade do pavimento desde o ano de implantação, em anos;

H_{revest} = espessura do revestimento em termos de CAUQ (cm); e,
 VDM = volume médio diário de tráfego (desde o ano de implantação).

2.6.6 Modelos de desempenho desenvolvidos por Vitorello (2008)

Os modelos de desempenho de pavimentos desenvolvidos por Vitorello (2008) basearam-se no estudo experimental da rodovia BR-290/RS, para segmentos construídos entre os anos 2000 e 2007.

A estrutura analisada contempla 8cm de revestimento asfáltico, 15cm de base, 30cm de sub-base e 60cm de camada de reforço. As deflexões foram levantadas com o equipamento FWD. A irregularidade longitudinal e o afundamento de trilha de roda foram obtidas simultaneamente com uso do perfilômetro laser.

Observa-se que a tendência da irregularidade e o afundamento de trilha de roda, se comportaram semelhantes com outros modelos encontrados na bibliografia técnica. No entanto, para a tendência referente às deflexões, nenhum dos modelos desenvolvidos em estudos anteriores apresentou comportamento similar ao encontrado por Vitorello (2008).

A Equação (2.43), apresenta o modelo de previsão para a deflexão com FWD em função do número $N_{8,2tf}$.

$$\begin{aligned} DEF &= 47,87 + 1,65N_{acum} \\ R^2 &= 0,46 \end{aligned} \quad (2.43)$$

O modelo de previsão para a irregularidade longitudinal em função do Número N pode ser observado na Equação (2.44).

$$\begin{aligned} QI &= 19,35 + 0,82N_{acum} + 5,81i \\ R^2 &= 0,51 \end{aligned} \quad (2.44)$$

O modelo de previsão para a evolução do afundamento em trilhas de roda em função do número $N_{8,2tf}$ pode ser observado na Equação (2.45).

$$\begin{aligned} ATR &= 2,36 + 0,56N_{acum} \\ R^2 &= 0,50 \end{aligned} \quad (2.45)$$

onde:

DEF = Deflexões medidas com FWD (10^{-2} mm);

QI = quociente de irregularidade (cont./km);

I = variável *dummy* (i=0, original; i=1, restaurado);

ATR = afundamento médio nas trilhas de rodas (mm); e,

N_{acum} = número equivalente acumulado de solicitações do eixo padrão de 8,2 tf obtido com os fatores de equivalência de carga da AASHTO.

2.6.7 Considerações sobre os modelos de previsão de desempenho apresentados

Com a apresentação dos modelos de previsão de desempenho realizada, buscou-se na literatura modelos que vem sendo aplicados com o intuito de avaliar o desempenho em campo dos segmentos monitorados da presente pesquisa. Dessa forma, foram escolhidos modelos de previsão dos principais mecanismos de degradação de pavimentos flexíveis, calibrados no Brasil, próximos à área de estudo, tentando dessa forma realizar uma apropriada avaliação.

3. MÉTODO DA PESQUISA

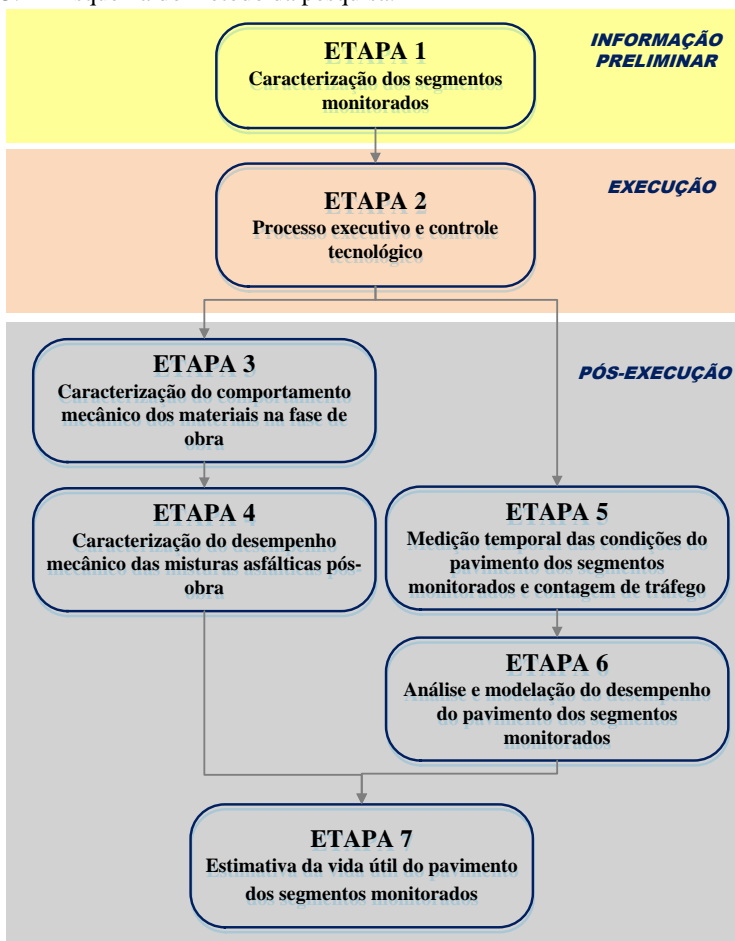
O Laboratório de Pavimentação da UFSC ligado à Rede Temática de Tecnologia do Asfalto, vêm desenvolvendo desde o ano 2012 o monitoramento de segmentos experimentais no estado de Santa Catarina.

Neste sentido, o período de execução dos segmentos monitorados de Urubici e Itapoá abrange até o ano 2011. No ano 2012 efetua-se a abertura ao tráfego, marcando deste modo o período de pós-execução dos segmentos em estudo.

A autora da presente pesquisa, começou a participar da equipe do Laboratório de Pavimentação da UFSC no ano 2014, continuando com as avaliações correspondentes ao período de pós-execução, participando dos levantamentos de campo e da execução dos ensaios de laboratório.

A metodologia adotada na elaboração do presente trabalho, se divide em 7 etapas. As informações coletadas dos segmentos em estudo gerados na construção e ao longo de 4 anos de monitoramento, são diferenciados segundo o período de execução e pós-execução respectivamente. A Figura 3.1 apresenta o esquema do método da pesquisa.

Figura 3.1 – Esquema do método da pesquisa.



Fonte: Elaboração própria.

3.1 ETAPA 1 – CARACTERIZAÇÃO DOS SEGMENTOS MONITORADOS

3.1.1 Informações gerais

Apresenta-se as informações gerais dos segmentos monitorados de Urubici e Itapoá, tais como a localização, coordenadas, clima, extensão e tipo de seção do pavimento.

3.1.2 Atualização do tráfego

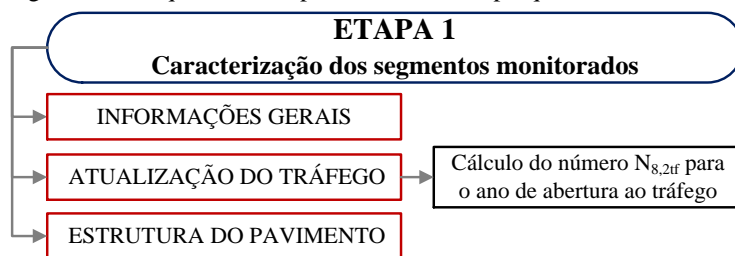
Inicialmente o ano de abertura ao tráfego dos segmentos monitorados foi projetado para o ano 2004. No entanto, os segmentos em estudo terminaram de ser construídos no final do ano 2011 e foram abertos ao tráfego no início do ano 2012. Por este motivo, atualizou-se o valor do tráfego efetuado pelas empresas consultoras, para a determinação do número de solicitações de eixo padrão de 8,2 tf ($N_{8,2tf}$) atuante a partir do ano 2012.

3.1.3 Estrutura do pavimento

Esta fase apresenta o tipo de estrutura do pavimento dos diferentes segmentos em estudo, além do método de dimensionamento aplicado.

O esquema desta etapa é apresentado na Figura 3.2.

Figura 3.2 – Esquema da Etapa 1 do método da pesquisa.

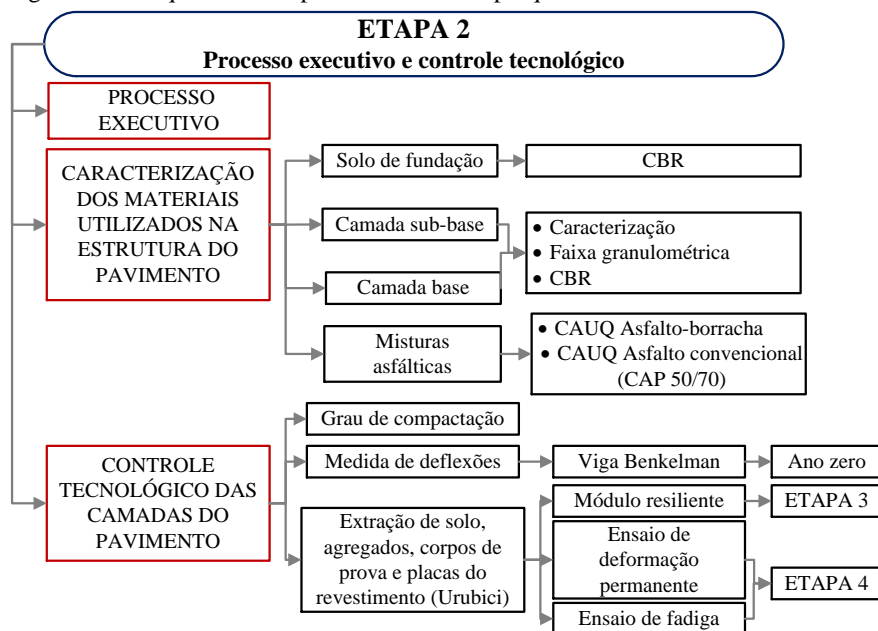


Fonte: Elaboração própria.

3.2 ETAPA 2 – PROCESSO EXECUTIVO E CONTROLE TECNOLÓGICO

Esta etapa descreve as características dos materiais utilizados granulometrias e o controle da execução dos segmentos monitorados. As informações apresentadas respaldam-se no relatório *As Built* das obras e no banco de dados dos ensaios realizados no Laboratório de Pavimentação da UFSC. A Figura 3.3 apresenta a estrutura desta etapa da pesquisa.

Figura 3.3 – Esquema da Etapa 2 do método da pesquisa.



Fonte: Elaboração própria.

3.2.1 Processo executivo

A construção dos segmentos monitorados de Urubici e Itapoá foi concluída no final do ano 2011. Ao longo da construção, o Laboratório de Pavimentação da UFSC acompanhou e monitorou a implantação dos segmentos monitorados. A autora do presente trabalho integrou-se ao projeto de pesquisa no ano 2014. Assim, as informações relativas ao processo executivo baseiam-se exclusivamente no relatório de pesquisa elaborado por Trichês (2014).

3.2.2 Caracterização dos materiais utilizados na estrutura do pavimento

Foram avaliadas as características dos seguintes materiais utilizados na estrutura do pavimento: o solo de fundação (CBR), os agregados (características, faixa granulométrica e CBR) e misturas asfálticas (CAUQ com asfalto-borracha e CAUQ com ligante convencional, CAP 50/70).

A descrição das características dos materiais apresentados fundamentam-se nos relatórios *As Built* das obras referentes aos segmentos monitorados e o banco de dados do Laboratório de Pavimentação da UFSC.

3.2.3 Controle tecnológico das camadas do pavimento

O controle tecnológico das camadas do pavimento dos segmentos em estudo foi realizado pelas respectivas empresas construtoras e supervisoras.

Consecutivamente, conforme as descrições sucintas dos relatórios *As Built* relativos aos segmentos em estudo, verificou-se a aceitabilidade dos seguintes parâmetros de controle: o grau de compactação, CBR, densidade e medida de deflexões (realizado com viga Benkelman).

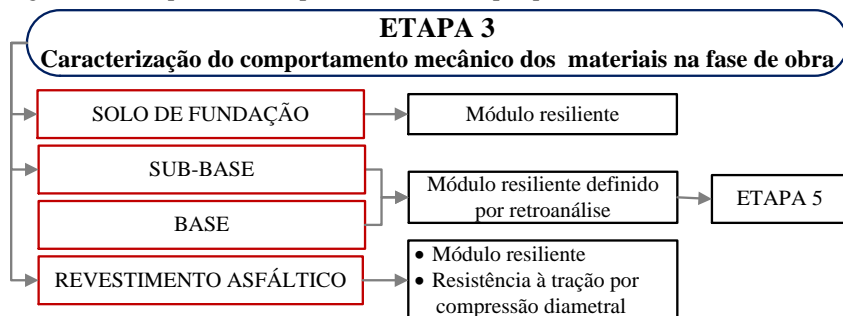
Neste sentido, para efeitos da avaliação do processo de execução dos segmentos monitorados, foram extraídos material do solo de fundação e do revestimento asfáltico (corpos de prova e placas). Porém, para ter uma melhor concordância entre as etapas desta pesquisa, os ensaios do solo de fundação e do revestimento asfáltico são descritos nas Etapas 3 e 4, respectivamente.

3.3 ETAPA 3 – CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DOS MATERIAIS NA FASE DE OBRA

Nesta etapa foram ensaiados o solo de fundação e os corpos de prova coletados na Etapa 2, conforme as indicações da Rede Temática de Tecnologia do Asfalto no Manual de Execução de Trechos Monitorados (REDE, 2010).

Para a caracterização do comportamento mecânico dos materiais da estrutura do pavimento, foram abordadas as atividades apresentadas na Figura 3.4.

Figura 3.4 – Esquema da Etapa 3 do método da pesquisa.



Fonte: Elaboração própria.

Na época em que foram executados os segmentos monitorados de Urubici e Itapoá, nem todos os atuais equipamentos estavam em operação no Laboratório de Pavimentação da UFSC. Por esta razão, alguns dos ensaios relacionados nesta etapa foram efetuados durante a execução dos segmentos (módulo resiliente do revestimento asfáltico) e outros ainda após a execução (módulo resiliente do solo de fundação, deformação permanente e fadiga).

3.3.1 Solo de fundação

O módulo de resiliência do solo de fundação dos segmentos monitorados de Urubici, foi determinado segundo ao estabelecido na norma DEINFRA-SC ES-P 01/16 (DEINFRA-SC, 2016b).

Em relação ao segmento monitorado de Itapoá, não foi possível a realização do ensaio de módulo resiliente do solo de fundação devido ao elevado teor de umidade desta camada. Nestas condições, a baixa resistência e o excesso de deformação permanente levavam à ruptura dos corpos de prova ainda na fase de condicionamento.

Portanto, o módulo de resiliência desta camada foi estimado mediante retroanálise das bacias defletométricas, conforme exposto na Etapa 5.

3.3.2 Camada de sub-base

O módulo resiliente do macadame seco da camada de sub-base dos segmentos monitorados de Urubici e Itapoá foram determinados mediante retroanálise, conforme exposto na Etapa 5.

3.3.3 Camada base

O módulo resiliente da brita graduada da camada de base dos segmentos monitorados de Urubici e Itapoá foram determinados mediante retroanálise, conforme exposto na Etapa 5.

3.3.4 Revestimento asfáltico

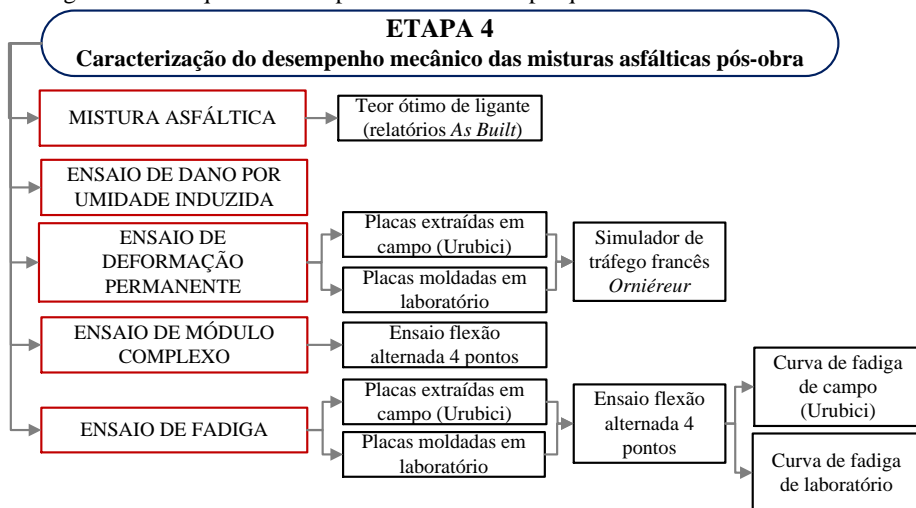
Durante a fase de obra foram moldados corpos de prova para a caracterização do módulo resiliente das misturas asfálticas aplicadas no segmentos monitorados de Urubici e Itapoá.

O ensaio de módulo resiliente para misturas betuminosas foi realizado segundo a norma DNIT 135/2010 – ME (BRASIL, 2010b), e o ensaio de resistência à tração por compressão diametral está baseado na norma DNIT 136/2010 – ME (BRASIL, 2010c).

3.4 ETAPA 4 – CARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO MECÂNICO DAS MISTURAS ASFÁLTICAS PÓS-OBRA

Os ensaios de dano por umidade induzida, deformação permanente, módulo complexo e fadiga foram realizadas tanto para as placas moldadas em laboratório como para as placas extraídas em campo (no caso de Urubici). O esquema de trabalho desta etapa é apresentado na Figura 3.5.

Figura 3.5 – Esquema da Etapa 4 do método da pesquisa.



Fonte: Elaboração própria.

3.4.1 Mistura asfáltica

A produção da mistura de concreto asfáltico, para os diversos ensaios realizados nesta etapa, foram executadas conforme o projeto de dosagem dos segmentos em estudo, detalhados nos relatórios *As Built* das obras. Para a constituição das misturas asfálticas, utilizou-se o agregado mineral aprovisionado durante a construção dos segmentos. Os ligantes asfálticos utilizados foram o CAP 50/70 e o ECOFLEX (asfalto-borracha) proveniente da Greca Asfaltos S.A.

Para a preparação das misturas os agregados foram fracionados em oito peneiras, para compor a curva granulométrica empregada em campo de forma precisa, com o objetivo de obter uma baixa dispersão dos resultados experimentais e eliminar fatores que não são objetos de investigação na pesquisa.

a) Teor de ligante

O teor de ligante para a moldagem das placas em laboratório foi adotado conforme o projeto de dosagem das misturas empregadas nos segmentos monitorados, atendendo os critérios da metodologia Marshall, detalhados nos relatórios *As Built* das obras.

Em laboratório foram moldadas placas de concreto asfáltico para os ensaios de deformação permanente, módulo complexo e resistência à fadiga, atendendo aos parâmetros físicos e volumétricos das misturas expostas nos Quadros 4.11 ao 4.13 para o projeto de Urubici e o Quadro 4.22 para o projeto de Itapoá.

b) Avaliação do dano por umidade induzida

Para avaliar a perda da resistência à tração através da ação deletéria da água, foi realizado o ensaio de Lottman modificado, segundo a norma *ABNT NBR 15617 Determinação do dano por umidade induzida* (ABNT, 2015).

Para cada mistura estudada foram moldados na Prensa de Compactação por Cisalhamento Giratório (PCG), 6 corpos de prova. O equipamento utilizado é da marca IPC Global Servopac, apresentado na Figura 3.6.

Destaca-se que na moldagem dos corpos de prova foi considerado a presença ou omissão de agente melhorador de adesividade, em função do especificado no projeto de dosagem de cada mistura, descrito nos relatórios *As Built* das obras.

Figura 3.6 – Compactador giratório IPC Global Servopac.



Fonte: Elaboração própria.

São consideradas misturas com boa resistência à ação da água na interface do sistema granular/betume aquelas cujo quociente obtido entre os valores da resistência à tração dos corpos de prova condicionados e os

não condicionados, denominado de resistência residual à tração (RRT), compreenderem um patamar de pelo menos 70% (BRASIL, 2009).

3.4.2 Moldagem de placas em laboratório

Foram moldadas placas de concreto asfáltico para os ensaios de deformação permanente, módulo complexo e fadiga. A compactação foi feita segundo à norma francesa *AFNOR NF P 98-250-2 - Essais Relatifs Aux Chaussées, Préparation Mélanges Hydrocarbonés, Partie 2: Compactage des Plaques* (AFNOR, 1991b).

O cálculo do volume do material necessário foi determinado em função do porcentagem do volume de vazios e da densidade máxima teórica, conforme Equação (3.1).

$$M = L \cdot l \cdot e_s \cdot DMT(100 - v\%) \quad (3.1)$$

onde:

M = Massa do corpo de prova (gr);

L = comprimento (cm);

l = largura (cm);

e_s = espessura da placa (cm);

DMT = densidade máxima teórica da mistura correspondente a 4% de vazios.

Para o ensaio de deformação permanente foram moldadas 2 placas de dimensões de 50x18x5cm para cada mistura (duas misturas com asfalto-borracha e uma com asfalto convencional CAP 50/70), correspondente aos segmentos monitorados de Urubici e Itapoá.

Para a caracterização do módulo complexo e comportamento à fadiga das misturas foram moldadas 3 placas de concreto asfáltico de dimensões de 60x40x9cm, para cada mistura estudada, totalizando 9 placas. Destas placas foram serrados os corpos de prova prismáticos de 5,2x6,3x40,0cm para os ensaios de módulo complexo e fadiga.

O equipamento utilizado para a moldagem das placas de concreto asfáltico foi a mesa compactadora LCPC. Este equipamento procura simular em laboratório o processo de compactação em campo da mistura asfáltica. O equipamento de compactação é ilustrado na Figura 3.7

Figura 3.7 – Mesa compactadora LCPC.



Fonte: Elaboração própria.

3.4.3 Ensaio de deformação permanente

Foram ensaiadas as placas extraídas em campo da Etapa 2 (segmentos monitorados de Urubici) e as placas moldadas em laboratório nesta etapa.

Antes de serem ensaiados, foram determinadas a geometria, o peso saturado com superfície seca e o peso seco de cada placa para se calcular a massa específica aparente (G_{mb}) e a porcentagem de volume de vazios.

O ensaio para a avaliação da deformação permanente seguiu o procedimento norma francesa AFNOR NF P 98-253-1 - *Essais Relatifs Aux Chaussées, Déformation Permanente des Mélanges Hydrocarbonés* (AFNOR, 1991a).

O equipamento utilizado para a avaliação das misturas de concreto asfáltico quanto ao desempenho de deformação permanente foi o equipamento francês *Orniéreur* (Figura 2.5).

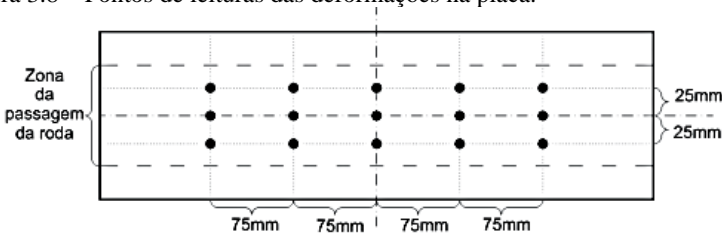
O ensaio atendeu o seguinte procedimento:

- Antes do início do ensaio, foi realizado o condicionamento para a acomodação das placas nos moldes de ensaio, sendo as placas submetidas a 1.000 ciclos a uma temperatura de 25°C;
- condicionamento térmico das placas a 60°C por um período de aproximadamente 12 horas;
- antes do início do ensaio (ciclo zero), são feitas as leituras iniciais da superfície da placa em relação a um plano de referência. Estas leituras servem de referencial para definir a evolução da medida da trilha de roda durante o ensaio;
- posteriormente, o eixo simples solicita as placas com uma frequência constante de 1Hz (um ciclo de solicitação é considerado como uma

passagem de ida e volta do eixo sempre pela mesma trilha). Os esforços produzidos pelo eixo são transmitidos às placas por pneus de borracha de textura lisa com uma pressão vertical igual a $5.000\text{N} \pm 50\text{N}$ e uma pressão de inflação de $0,6\text{MPa}$;

- medição do afundamento gerado pela passagem do eixo após ciclos de 0, 100, 300, 1.000, 3.000, 10.000 e 30.000, em 15 pontos distribuídos, conforme a Figura 3.8;

Figura 3.8 – Pontos de leituras das deformações na placa.



Fonte: Adaptado da AFNOR NF P 98 – 253 – 1 (1993).

- o ensaio dever ser interrompido quando existe um afundamento superior a 10% da espessura da placa. A profundidade de deformação permanente é calculada pela média das profundidades medidas nos 15 pontos sobre a superfície da placa, definido na Equação (3.2):

$$Pi\% = \frac{\sum j(m_{ij} - m_{0j})}{15ES} \quad (3.2)$$

onde:

$Pi\%$ = Porcentagem média de afundamento na superfície da placa no ciclo i ;

j = ponto de leitura da deformação permanente na placa, varia de 1 a 15;

m_{ij} = medida da profundidade no ciclo i do ponto j ;

m_{0j} = medida a da profundidade no ciclo 0 do ponto j ; e,

ES = espessura da placa (cm).

Segundo a especificação francesa, quando uma mistura asfáltica apresenta comportamento dentro dos limites especificados para o ensaio é muito provável que a mistura não apresentará problemas de formação de trilha de roda em campo.

3.4.4 Preparação dos corpos de prova para o ensaio de módulo complexo e resistência a fadiga

Os ensaios de módulo complexo e resistência à fadiga foram realizados a partir de corpos de prova prismáticos de dimensões de 5,2x6,3x 40,0cm, obtidos a partir da serragem de placas moldadas em laboratório e extraídas de campo (segmentos monitorados de Urubici). É necessário um procedimento rigoroso na preparação dos materiais, na compactação e no processo de corte das placas para obter corpos de prova que sejam os mais homogêneos possíveis, tanto na porcentagem de vazios quanto nas suas dimensões.

As placas moldadas com dimensões 60x40x9cm foram serradas no sentido da passagem das rodas de compactação, obtendo um conjunto de 5 corpos de prova prismáticos para cada placa moldada. Para as placas extraídas em campo, o procedimento de serragem dos corpos de prova foi semelhante ao adotado para as placas moldadas em laboratório.

Determinadas a geometria e o peso, conservou-se os corpos de prova por um período de repouso de 15 dias a uma temperatura média ao redor de 20 a 25°C (para a secagem até constância do peso).

Posteriormente, foram determinadas a geometria, o peso saturado com superfície seca e peso seco de cada corpo de prova, selecionando-se aqueles que seriam submetidos aos ensaios de módulo complexo e fadiga.

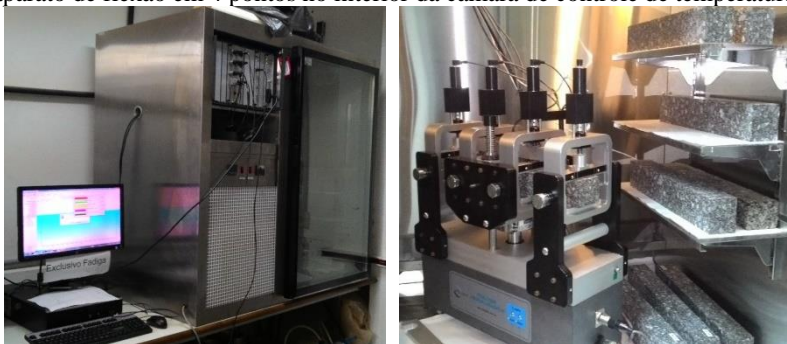
3.4.5 Ensaio de módulo complexo

Para a caracterização do comportamento reológico das misturas asfálticas dos segmentos monitorados foi realizado o ensaio de módulo complexo a diversas frequências e temperaturas. Utilizou-se o equipamento servo-pneumático produzido pela IPC Global, sendo a designação inglesa de “*Pneumatic 4 Point Bending Apparatus*” ou fadiga a 4 pontos.

O ensaio de módulo complexo foi realizado conforme os parâmetros da norma europeia *EN 12697-26 - Bituminous Mixtures, Test Methods for Hot Mix Asphalt - Part 26: Stiffness (EN, 2004b)*.

O equipamento é composto por uma estrutura de carga, um grupo pneumático e uma câmara climática para controle da temperatura durante todo o ensaio (Figura 3.9a). No interior da câmara encontra-se o aparato de flexão em 4 pontos (Figura 3.9b).

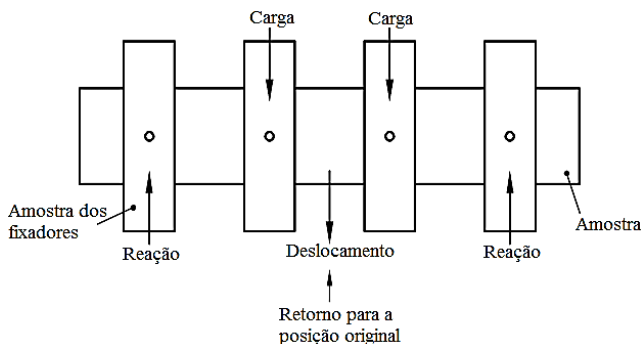
Figura 3.9 – (a) Câmara de controle de temperatura e aquisição de dados (b) aparato de flexão em 4 pontos no interior da câmara de controle de temperatura.



Fonte: Elaboração própria.

A configuração da aplicação do carregamento no corpo de prova é mostrada na Figura 3.10.

Figura 3.10 – Configuração de carregamento para o ensaio de fadiga a quatro pontos.



Fonte: Adaptado de EN (2004b).

Para a caracterização reológica de cada mistura (módulo complexo e ângulo de fase), as frequências de carregamento dos corpos de prova foram de 0,1 Hz, 0,2 Hz, 0,5 Hz, 1 Hz, 2 Hz, 5 Hz, 10 Hz, 20 Hz. O número de ciclos em cada frequência foi de 100. As temperaturas de ensaio foram de 0°C, 5°C, 10°C, 15°C, 20°C, 25°C e 30°C.

Os ensaios foram conduzidos sob deformação controlada com carregamento sinusoidal alternado. A amplitude da deformação foi de 50 $\mu\text{m/m}$, em conformidade com a norma EN 12697-26. A partir dos ensaios foram obtidos para cada frequência e temperatura experimentada,

o módulo complexo $|E^*|$, o ângulo de fase (δ), a energia dissipada por ciclo (W), assim como o módulo de armazenamento (E_1) e o módulo de perda (E_2).

3.4.6 Ensaio de resistência à fadiga

O ensaio de resistência à fadiga foi realizado segundo os critérios da norma europeia *EN 12697-24 - Bituminous Mixtures, Test Methods for Hot Mix Asphalt - Part 24: Resistance to Fatigue (EN, 2004a)*.

Para a obtenção das curvas de fadiga das misturas asfálticas dos segmentos monitorados os ensaios de fadiga foram conduzidos sob deformação controlada, com carregamento sinusoidal alternado. No que se refere às condições de ensaio, determinou-se para esta pesquisa os seguintes aspectos:

- ensaios conduzidos sob carregamento sinusoidal contínuo e deformação controlada;
- critério de ruptura para o fim do teste: a redução de 50% do módulo complexo inicial, com módulo inicial determinado no centésimo ciclo;
- temperatura do ensaio definida a 20°C, definida conforme norma EN 12697-24;
- frequência de ensaio de 10 Hz, equivalente a velocidade de 72 km/h (CHABOT *et al.*, 2009).

Para cada mistura asfáltica foi obtida a equação característica da curva de fadiga conforme à Equação (3.3).

$$N = a \times \varepsilon^b \quad (3.3)$$

onde:

N = Número de aplicações da solicitação até a redução de 50% do módulo inicial;

ε = deformação específica a tração (microdeformação), e;

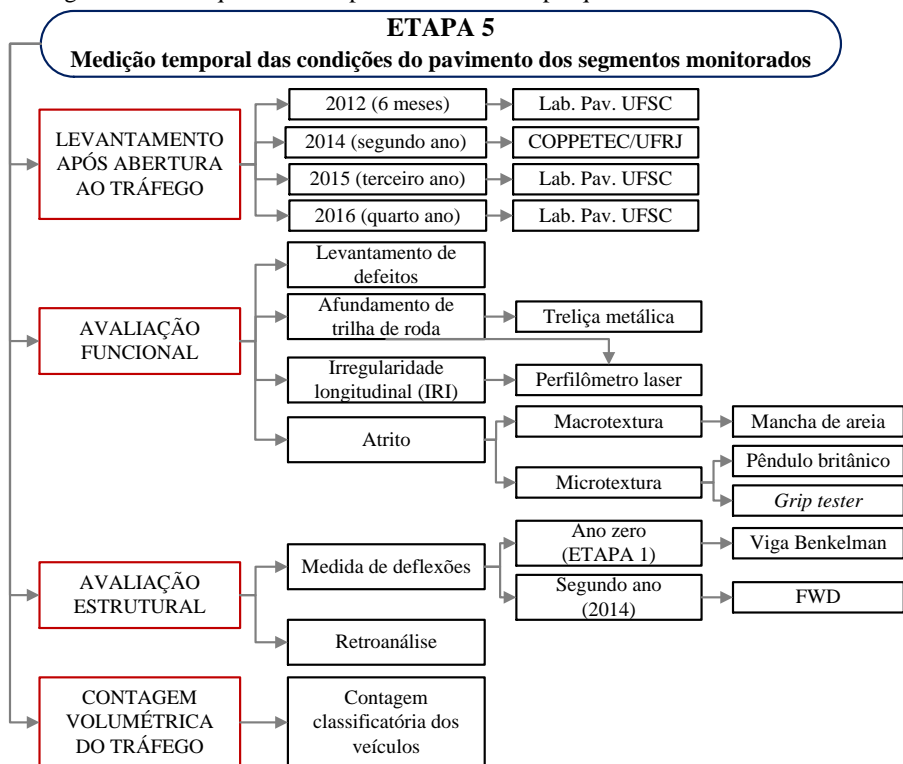
a , b = constantes determinados experimentalmente.

3.5 ETAPA 5 – MEDIÇÃO TEMPORAL DAS CONDIÇÕES DO PAVIMENTO DOS SEGMENTOS MONITORADOS

A finalidade desta etapa é a avaliação temporal das condições funcional e estrutural do pavimento dos segmentos monitorados. A

seqüência de atividades previstas para a Etapa 5 é apresentado no esquema da Figura 3.11.

Figura 3.11 – Esquema da Etapa 5 do método da pesquisa.



Fonte: Elaboração própria.

3.5.1 Levantamentos realizados após abertura ao tráfego

Para a avaliação das condições do pavimento existente foram realizados seguintes levantamentos, a partir do ano de abertura ao tráfego:

- O primeiro levantamento foi realizado pelo Laboratório de Pavimentação da UFSC, após 6 meses (julho e agosto 2012) da abertura ao tráfego. Nesse levantamento, realizou-se o cadastro de defeitos superficiais e a medida da trilha de roda utilizando-se a treliça metálica conforme ao definido na norma DNIT 006/2003-PRO(Brasil, 2003b), como mostrado nas Figuras 3.12 e 3.13.

Em novembro de 2012 foi realizado o levantamento das deflexões (FWD) e IRI (Perfilômetro a Laser) realizados pelo DEINFRA-SC.

Figura 3.12 – Levantamento de defeitos e medida de trilha de roda (agosto 2012) segmentos monitorados de Urubici.



Fonte: Trichês (2014).

Figura 3.13 – Levantamento de defeitos e medida de trilha de roda (Julho 2012) segmento monitorado de Itapoá (apenas foram cadastradas segregações).



Fonte: Adaptado de Trichês (2014).

- O segundo levantamento consistiu na medida do IRI e trilha de roda com o perfilômetro a laser, atrito com o *Grip tester*, e deflexões com FWD utilizando-se os equipamentos do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPETEC/UFRJ) exposto na Figura 3.14. Este levantamento foi realizado em março de 2014 (cerca de 2 anos após da abertura ao tráfego).

Figura 3.14 – Levantamento da medida do IRI com o perfilômetro a laser e medida do atrito com o *Grip Tester* (ano 2014) segmentos monitorados de Urubici e Itapoá.



Fonte: Adaptado de Trichês (2014).

- O terceiro levantamento foi executado em março de 2015 (cerca de 3 anos após da abertura ao tráfego), pelo Laboratório de Pavimentação da UFSC, que consistiu no levantamento de defeitos, medida de trilha de roda com treliça metálica, e a medida do atrito utilizando o Pêndulo Britânico e ensaio de mancha de areia, como ilustrado nas Figuras 3.15 e 3.16.

Figura 3.15 – Levantamento de defeitos, medida de trilha de roda, medida da microtextura e macrotextura (ano 2015) segmentos monitorados de Urubici.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 3.16 – Levantamento de defeitos e medida de trilha de roda (ano 2015) segmento monitorado de Itapoá.



Fonte: Elaboração própria.

- O quarto levantamento foi realizado pelo Laboratório de Pavimentação da UFSC em fevereiro de 2016 (cerca de 4 anos após da abertura ao tráfego), que consistiu no levantamento de defeitos, medida de trilha de roda com treliça metálica, e contagem de tráfego como observado nas Figuras 3.17, 3.18 e 3.19.

Figura 3.17 – Levantamento de defeitos, medida de trilha de roda (ano 2016) segmentos monitorados de Urubici.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 3.18 – Levantamento de defeitos, medida de trilha de roda (ano 2016) segmento monitorado de Itapoá.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 3.19 – Contagem de tráfego (ano 2016).



Fonte: Elaboração própria.

3.5.2 Avaliação funcional

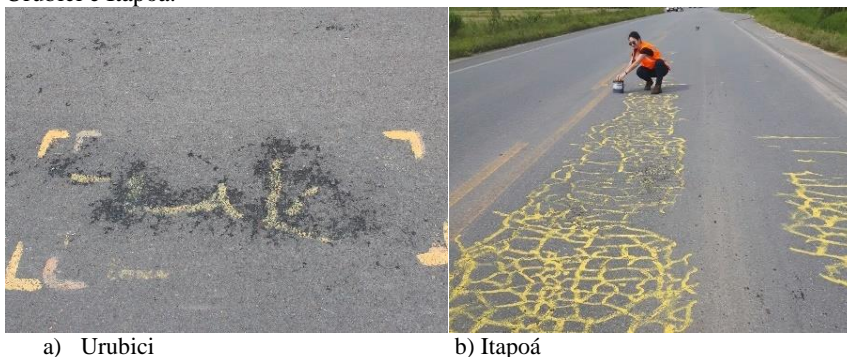
Para avaliar a condição funcional dos pavimentos, foram realizados os seguintes levantamentos.

3.5.2.1 Levantamento e medição dos defeitos

O inventário de defeitos dos segmentos monitorados de Urubici e Itapoá foi feito pelo Laboratório de Pavimentação da UFSC nos anos 2012, 2015 e 2016. O levantamento e mediação de defeitos foram realizados nas duas faixas de rolamento, em conformidade com o estabelecido no Manual de Execução de Trechos Monitorados, elaborado pela Rede Temática de Tecnologia do Asfalto (REDE, 2010). Os defeitos

foram demarcados e identificados segundo a norma DNIT 005/2003-TER (BRASIL, 2003a), como apresentado na Figura 3.20.

Figura 3.20 – Demarcação e medição dos defeitos – segmentos monitorados de Urubici e Itapoá.



Fonte: Elaboração própria.

Posteriormente, foram medidos o comprimento e largura, permitindo assim o compute da área dos defeitos identificados. Para o caso de trincas isoladas (longitudinal ou transversal) considerou-se uma largura de 0,20 metros. Defeitos de pequena abrangência (pontuais) foram computados com área mínima de (10x10cm).

3.5.2.2 Afundamento de trilha de roda

O Afundamento de Trilha de Roda (ATR) foi levantado mediante dois procedimentos. O primeiro, refere-se ao uso de uma barra metálica de 1,20m de comprimento, medida padronizada em função da base da treliça estabelecida na norma DNIT 006/2003-PRO (BRASIL, 2003b). O Laboratório de Pavimentação da UFSC utilizou este procedimento para os levantamentos realizados nos anos 2012, 2015 e 2016.

Para a consecução deste método, os segmentos monitorados foram demarcados fisicamente por estacas a cada 20 metros na borda externa da faixa de rolamento, preservando-se a numeração das estacas da construção do segmento. Esse estaqueamento físico foi utilizado como referência para a medição da trilha de roda nos diferentes períodos de avaliação. As flechas nas trilhas de roda foram medidas na borda externa da faixa de rolamento, conforme apresentado na (Figura 3.21).

Figura 3.21 – Medida de trilha de roda – segmentos monitorados de Urubici e Itapoá.



a) Urubici

b) Itapoá

Fonte: Elaboração própria.

O segundo procedimento refere-se ao uso do perfilômetro laser, cujo levantamento foi realizado em março de 2014 pela COPPETEC/UFRJ (Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro). O perfilômetro utilizado, desenvolvido pela empresa Cíbermétrica, conta com 5 módulos de laser instalados em uma barra acoplada na parte frontal do veículo avaliando a irregularidade longitudinal simultaneamente com o afundamento de trilha de roda. A Figura 3.22 mostra o perfilômetro da COPPETEC/UFRJ instalado no veículo.

Figura 3.22 – Perfilômetro a Laser (COPPETEC/UFRJ).



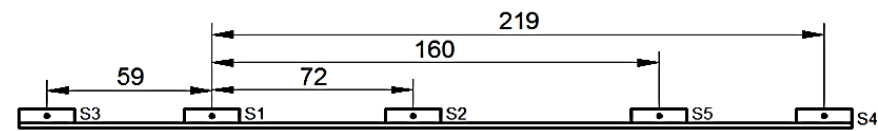
Fonte: Trichês (2014).

3.5.2.3 Irregularidade longitudinal

A irregularidade longitudinal (IRI) foi levantado o ano 2014 pela COPPETEC/UFRJ, mediante o uso do perfilômetro laser, segundo ao especificado da norma ASTM E950-04 (ASTM, 2004).

Os valores do IRI foram medidos cada 20m e obtidos para cada faixa de rolamento dos segmentos em estudo. O valor do IRI resultante é a média dos valores medidos nos sensores S1, S2 e S5. A Figura 3.23 ilustra a posição dos sensores do perfilômetro.

Figura 3.23 – Posição e distância entre os sensores do perfilômetro.



Fonte: Trichês (2014).

3.5.2.4 Macrotextura e microtextura

A avaliação da macrotextura foi realizada pelo ensaio da Mancha de Areia, conforme a norma ASTM E 965/2006 (ASTM, 2006).

O ensaio consistiu em preencher os vazios da textura superficial do pavimento com um volume conhecido (de $25000 \pm 150 \text{ mm}^3$) de areia natural limpa e seca. Fez-se o espalhamento da areia sobre a superfície seca do pavimento, até conseguir uma mancha circular. Posteriormente, se obteve a média de quatro medidas do diâmetro a fim de calcular a altura de areia (HS), conforme a Equação (3.4):

$$HS = \frac{4V}{\pi D^2} \quad (3.4)$$

onde:

HS = Altura de areia (mm);

V = volume padrão (25000 mm^3);

D = diâmetro médio da mancha (mm).

Os materiais envolvidos nesse teste são de baixo custo e são mostrados na Figura 3.24.

Figura 3.24 – Aparelhos para medir a macrotextura.



Fonte: Elaboração própria.

O Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos (BRASIL, 2006c), apresenta os limites de macrotextura definidos em função do HS, de acordo com o Quadro 3.5.

Quadro 3.5 – Classes de macrotextura pelo método da Mancha de Areia.

Classificação	Limites de HS
Muito Fina	< 0,20
Fina	0,21 - 0,40
Média	0,41 - 0,80
Grossa	0,81 - 1,20
Muito Grossa	> 1,20

Fonte: Adaptado de Brasil (2006b).

O ensaio de microtextura foi realizado com o pêndulo britânico, em conformidade com a norma ASTM E303-93 (ASTM, 2013a). As medidas foram feitas nas mesmas datas e locais do ensaio de mancha de areia.

Este equipamento é munido de um braço pendular, cuja extremidade tem uma sapata de borracha (Figura 3.25). Ao soltar-se a haste do pêndulo, a sapata entra em contato com o pavimento em uma área previamente determinada. O valor de atrito medido é expresso em português como VRD (Valor de Resistência à Derrapagem). As medições foram realizadas na trilha de roda externa.

Figura 3.25 – Execução do ensaio com o Pêndulo Britânico.



Fonte: Elaboração própria.

No Quadro 3.6, são apresentados os valores de VRD em função das classes de microtextura (BRASIL, 2006c).

Quadro 3.6 – Classes de microtextura pelo método do Pêndulo Britânico.

Classificação	Limites de VRD
Perigosa	< 25
Muito lisa	25 - 31
Lisa	32 - 39
Insuficientemente rugosa	40 - 46
Medianamente rugosa	47 - 54
Rugosa	55 - 75
Muito rugosa	> 75

Fonte: Adaptado de Brasil (2006b).

Nesta etapa também foram realizadas medidas de microtextura com o emprego do *Grip Tester*, apresentado na Figura 3.26. O procedimento adotado foi o recomendado pela norma ASTM E 1844-08(2015) *Standard Specification for A Size 10 × 4–5 Smooth-Tread Friction Test Tire* (ASTM, 2015). As medições foram realizadas pela COPPETEC/UFRJ no ano 2014.

Figura 3.26 – Emprego do *Grip Tester* para a avaliação da microtextura.



Fonte: Elaboração própria.

O ensaio consiste em medir o atrito pneu-pavimento em condições de pluviosidade (MATTOS, 2009). Para isso faz-se a aspersão de uma vazão constante de água na frente da roda de teste deste ensaio. A vazão é proporcional à velocidade de deslocamento do equipamento suficiente para criar uma película de água com espessura de 1,0 mm e velocidade de 30km/h (DYNATEST, 2016).

Devido à falta de norma técnica dos órgãos rodoviários para a avaliação da resistência à derrapagem dos valores medidos pelo *Grip Tester*, serão utilizados os indicadores para avaliação dos resultados de atrito em pistas de pouso e decolagem de aeródromos proposta pela ANAC (2012), conforme apresentado no Quadro 3.7. Os valores admitem uma tolerância de 2,5% sobre os valores de coeficiente de atrito.

Quadro 3.7 – Parâmetros do coeficiente de atrito utilizando o *Grip Tester*.

Velocidade do ensaio (km/h)	Espessura da lâmina de água simulada (mm)	Coeficiente de atrito	
		Nível de manutenção	Nível mínimo
65	1	0,53	0,43
95	1	0,36	0,24

Fonte: Adaptado ANAC (2012).

Além dos ensaios de campo, em laboratório foi determinada a macro e microtextura das placas moldadas para os ensaios de fadiga, utilizando ensaios do Pêndulo Britânico e Mancha de Areia, com o objetivo de se ter uma estimativa do atrito da mistura nova representativo do ano de abertura ao tráfego.

3.5.3 Avaliação estrutural

No ano 2012 (antes da abertura ao tráfego¹) o levantamento de deflexões foi executado com o uso da viga Benkelman conforme o prescrito na norma DNER-ME 024/94(DNER, 1994a). O levantamento foi realizado nas duas faixas de rolamento, em todas as estacas que compõem a extensão do segmento, sendo que a distância entre as estacas era de 20 em 20 metros.

Posteriormente, no ano 2014 o levantamento deflectométrico foi realizado com o equipamento FWD, conforme os parâmetros exigidos na norma DNER PRO 273/96 (DNER, 1996). O FWD utilizado pela COPPETEC/UFRJ é de fabricação sueca, modelo Kuab 8833. A Figura 3.27 apresenta o equipamento utilizado no levantamento deflectométrico.

Os levantamentos foram realizados nas mesmas estacas onde foram feitos os ensaios com viga Benkelman. A carga do conjunto de massas é de aproximadamente 4000kgf. As leituras dos ensaios para medida das bacias de deflexão com este equipamento ocorreram nas distâncias de 0cm, 20cm, 30cm, 45cm, 60cm, 90cm, 120cm, 150cm e 180cm do centro de aplicação da carga.

Figura 3.27 – Equipamento FWD utilizado no levantamento deflectométrico dos segmentos monitorados de Urubici e Itapoá.



Fonte: Trichês (2014).

Além das leituras das deflexões do pavimento, foi realizada a leitura da temperatura do pavimento em cada um dos pontos avaliados, para uma posterior correção das deflexões medidas em função da temperatura do pavimento. Tais correções foram realizadas

¹ O segmento de Itapoá foi aberto ao tráfego em dezembro de 2011 e os segmentos de Urubici em janeiro de 2012.

empregando-se o fator de correção do ábaco do DER-SP (2006), apresentado na Figura 2.3.

3.5.4 Retroanálise

A retroanálise das bacias de deflexão foi realizada estimando os Módulos de Resiliência (MR) das camadas que compõem a estrutura dos segmentos monitorados, a partir dos levantamentos deflectométricos com o FWD realizado pela COPPETEC/UFRJ no ano 2014.

Para este fim, fez-se uso do software BAKFAA, inserindo-se os valores de deflexões corrigidos, as espessuras das camadas e os coeficientes de Poisson apresentados no Quadro 3.8, além dos módulos “sementes” de cada camada

Quadro 3.8 – Coeficiente de Poisson adotado para o retroanálise.

Camada	Coeficiente de Poisson
Revestimento	0,30
Base	0,35
Sub-base	0,35
Subleito	0,45

Fonte: Elaboração própria.

Os coeficientes de Poisson para materiais asfálticos, granulares e argilosos utilizados nesta pesquisa têm como referência os valores sugeridos por Bernucci *et al.* (2008).

Como o asfalto é um material viscoelástico sensível à temperatura, fez-se necessário aplicar um fator de correção para as medidas de deflexão realizadas a temperatura diferente de 25°C. Portanto, as medidas de deflexão foram corrigidas para esta temperatura, com base aos fatores de correção do ábaco do DER-SP (DER, 2006) da Figura 2.3.

As bacias de deflexão escolhidas para o retroanálise enquadraram-se nos parâmetros definidos a seguir:

- Analisou-se as deflexões máximas das bacias de deformação (D_0). Deste modo, foram eliminadas as bacias com valores de deflexão considerados espúrios, após provas de normalidade, com um intervalo de confiança de 95%.
- Revisou-se que as bacias de deflexão apresentassem um formato homogêneo em termos de delineamento.

O ajuste entre a bacia medida em campo e a calculada pelo programa foi baseado no valor da raiz média quadrática (RMS), aceitando-se uma tolerância máxima do RMS de 2% (FERNANDES, 2000).

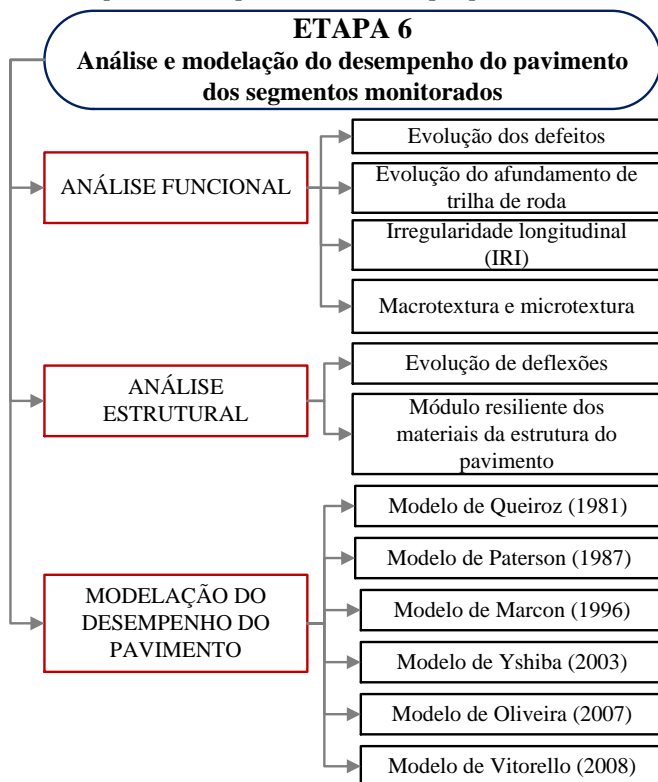
3.5.5 Contagem volumétrica do tráfego

A contagem dos veículos foi realizada conforme o Manual de Estudo de Tráfego do DNIT (BRASIL, 2006a). A contagem teve caráter quantitativo e classificatório. Com os dados obtidos, foi possível atualizar o número de solicitações do eixo padrão $N_{8,2tf}$, possibilitando a obtenção dos modelos de desempenho em função do $N_{8,2tf}$. A contagem foi realizada entre janeiro e fevereiro do ano 2016, iniciando a jornada as 7:00 da manhã e concluindo às 21:00 horas do mesmo dia, durante três dias consecutivos.

3.6 ETAPA 6 – ANÁLISE E MODELAÇÃO DO DESEMPENHO DO PAVIMENTO DOS SEGMENTOS MONITORADOS

A análise da evolução das condições funcionais e estruturais do pavimento dos segmentos monitorados, visou identificar quanto tempo após a abertura ao tráfego (volume de tráfego) surgem os primeiros defeitos e degradações no pavimento e a taxa de evolução dos mesmos com o tráfego. A Figura 3.28 mostra o esquema de trabalho da presente etapa.

Figura 3.28 – Esquema da Etapa 6 do método da pesquisa.



Fonte: Elaboração própria.

3.6.1 Análise funcional

Foi realizada a análise da evolução dos defeitos, afundamento de trilha de roda, irregularidade longitudinal, macrotextura e microtextura, baseado nos resultados obtidos na Etapa 5.

3.6.2 Análise estrutural

Foi efetuado a análise estrutural, baseado nos resultados da Etapa 5, em relação à evolução das medidas de deflexões do pavimento e o módulo resiliente das camadas da estrutura do pavimento, obtido por retroanálise.

3.6.3 Modelação do desempenho do pavimento

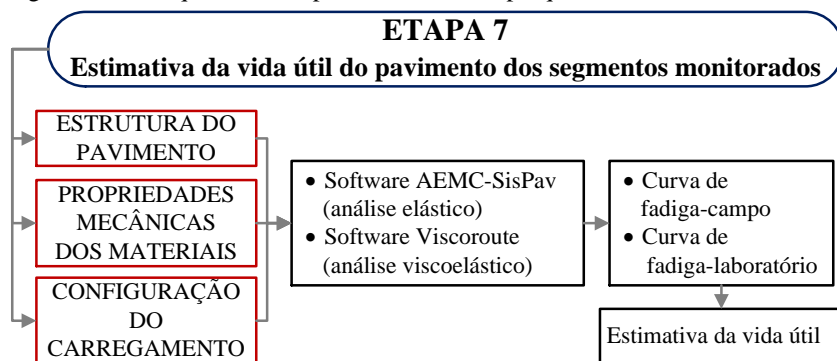
Foi realizada a modelação do desempenho do pavimento dos segmentos monitorados, empregando-se os modelos estudados na revisão bibliográfica, identificando os fatores mais importantes no processo de deterioração dos pavimentos asfálticos estudados.

3.7 ETAPA 7 – ESTIMATIVA DA VIDA ÚTIL DO PAVIMENTO DOS SEGMENTOS MONITORADOS

Definida a estrutura do pavimento dos segmentos monitorados e as propriedades mecânicas dos materiais do pavimento, se procedeu à simulação numérica no programa AEMC (análise elástico) pertencente ao *software* SisPav e no *software* ViscoRoute (análise viscoelástico).

Com o resultado desta simulação e as curvas de fadiga de campo e laboratório (obtidas na Etapa 4), realizou-se a estimativa da vida útil do pavimento em termos de número de solicitações do eixo padrão de 8,2 toneladas. Nesta estimativa, considerou-se por ora, o fator campo-laboratório igual a 1. A Figura 3.29, apresenta o fluxo de trabalho da Etapa 7.

Figura 3.29 – Esquema da Etapa 7 do método da pesquisa.



Fonte: Elaboração própria.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS SEGMENTOS MONITORADOS

4.1.1 Caracterização dos segmentos monitorados de Urubici

4.1.1.1 Informações preliminares

No município de Urubici foram executados 3 segmentos monitorados, inseridos na rodovia SC-370 (antiga nomenclatura SC-439). A SC-370 é uma rodovia estadual que liga o Sul Catarinense até a Serra Catarinense, pela Serra do Corvo Branco.

A altitude dos trechos é de 900m.s.n.m e estão inseridos na região mais fria do estado de Santa Catarina. A principal atividade econômica do município é a produção de hortaliças e frutas com especial ênfase na produção de maçã, caracterizando-se como a maior região produtora de maçã no Brasil.

Os segmentos monitorados foram construídos em trechos planos e em tangente, com uma extensão de 300m cada. A rodovia é em pista simples, com uma secção transversal de 10,5m, com 6,5m de pista de rolamento e 2,0m de acostamentos laterais.

4.1.1.2 Localização dos segmentos

As coordenadas do início dos segmentos são as seguintes: 27°59' 38,35" S e 49°34' 12,80" O. A Figura 4.1 mostra a localização deles no mapa rodoviário.

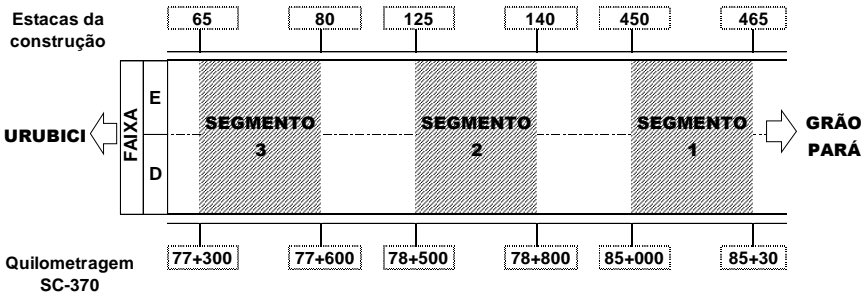
Figura 4.1 – Localização dos segmentos monitorados de Urubici.



Fonte: Elaboração própria.

O segmento 1 de referência (representa a estrutura da rodovia), localiza-se entre as estacas da construção 450 e 465, o segmento 2 entre as estacas 125 e 140, e o segmento 3 entre as estacas 65 e 80, com uma extensão de 300m cada. A Figura 4.2 apresenta o esquema da localização dos segmentos em referência às estacas da construção e à quilometragem da rodovia SC-370.

Figura 4.2 – Esquema de localização dos segmentos monitorados de Urubici.



Fonte: Elaboração própria.

4.1.1.3 Configuração estrutural dos segmentos

O segmento monitorado 1 é composto de subleito em solo com CBR de projeto acima de 5,0%, 20,0cm de sub-base em macadame seco, 15,0cm de base de brita graduada simples, camada de 2,0cm de CAUQ (Concreto Asfáltico Usinado a Quente) de massa fina com asfalto convencional CAP 50/70 e 4,0 cm de camada de rolamento em CAUQ com asfalto-borracha (CAPFLEX-B), conforme apresentado na Figura 4.3. Esta é a estrutura típica do pavimento dimensionada para toda a rodovia SC-370.

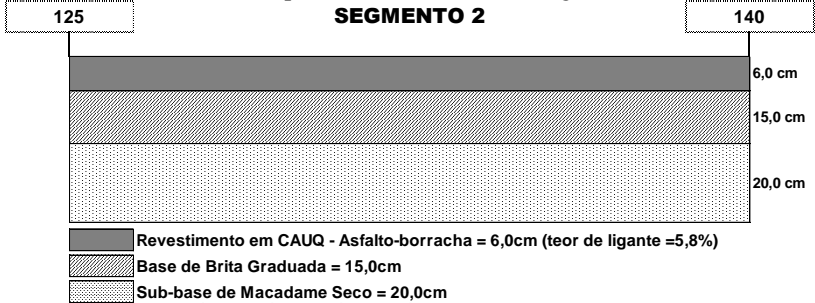
Figura 4.3 – Estrutura do pavimento executado no segmento monitorado 1.



Fonte: Elaboração própria.

A estrutura apresentada na Figura 4.4, caracteriza o segmento monitorado 2, que difere na camada de revestimento em relação ao segmento monitorado 1, apresentando uma espessura de 6,0cm em CAUQ com asfalto-borracha (CAPFLEX-B). No restante das camadas os materiais são da mesma origem e composição.

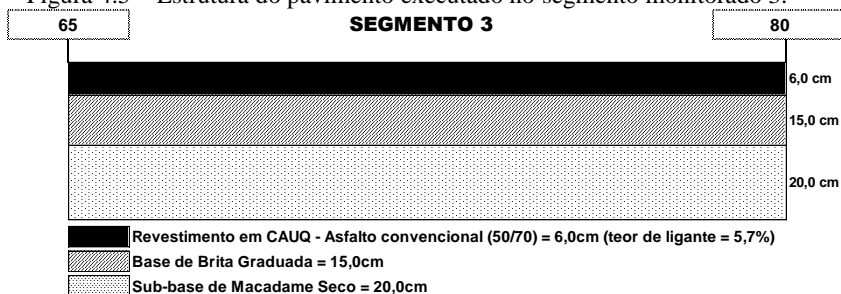
Figura 4.4 – Estrutura do pavimento executado no segmento monitorado 2.



Fonte: Elaboração própria.

A Figura 4.5, apresenta a estrutura do pavimento do segmento monitorado 3, diferindo o material da camada de revestimento em relação ao segmento monitorado 2, sendo esta executada em CAUQ com asfalto convencional CAP 50/70.

Figura 4.5 – Estrutura do pavimento executado no segmento monitorado 3.



Fonte: Elaboração própria.

Os segmentos foram dimensionados segundo o Método do Engº Murilo Lopes de Souza (DNER/1981).

4.1.1.4 Atualização do tráfego

Nos segmentos de Urubici, o estudo de tráfego desenvolvido pela empresa consultora PROSUL Ltda (2001), determinou uma solicitação prevista de $N_{USACE} = 1,69 \times 10^6$ para o ano de abertura ao tráfego, que inicialmente era previsto para 2004, como mostrado no Quadro 4.1.

Quadro 4.1 – Crescimento do $N_{8,2tr}$ para o ano de abertura ao tráfego em 2004.

Ano	Número $N_{8,2tr}$	
	Anual	Acumulado
2004	1,37E+05	1,37E+05
2005	1,43E+05	2,80E+05
2006	1,50E+05	4,30E+05
2007	1,56E+05	5,86E+05
2008	1,64E+05	7,50E+05
2009	1,72E+05	9,22E+05
2010	1,79E+05	1,10E+06
2011	1,87E+05	1,29E+06
2012	1,96E+05	1,48E+06
2013	2,05E+05	1,69E+06

Fonte: Adaptado de PROSUL (2001).

Não obstante, a rodovia foi aberta ao tráfego somente em janeiro de 2012. Portanto, para fins de comparação com o monitoramento do tráfego desenvolvido na Etapa 5, o número $N_{8,2tr}$ (Número de Repetições do Eixo Padrão de 8,2tf) foi atualizado através da Equação (4.1).

$$N = 365 \times Fp \times Fr \times \Sigma(Vi \times Fi) \quad (4.1)$$

onde:

Fp = Fator de pista (para o caso de 2 faixas $Fp=0,5$);

Fr = fator climático regional, considerado igual a 1,0;

Vi = número de veículos de categoria “i” (automóveis, caminhões, etc.);

Fi = fator de equivalência de eixo para cada categoria “i”.

O cálculo do número $N_{8,2f}$ seguiu a metodologia do Corpo de Engenheiros do Exército Americano, adotando as mesmas taxas de crescimento e fatores de veículos do estudo de tráfego do projeto de implantação realizado pela PROSUL Ltda em 2001, como mostrado no Quadro 4.2.

Quadro 4.2 – Fator de equivalência de Veículo (Fvi).

Veículo	Taxas	Fator de veículo USACE	Fator de veículo AASHTO
Automóveis	3	0,000	0,000
Ônibus	4,6	0,790	0,670
Caminhões simples	4,6	1,149	0,578
Caminhões duplos	4,6	4,767	0,837
Reboque/Semi-reboque	4,6	12,078	3,388

Fonte: Adaptado de PROSUL (2001).

O Quadro 4.3 apresenta o crescimento do número $N_{8,2f}$ para o novo período de projeto de 10 anos, considerando 2012 como o ano de abertura ao tráfego. Deste modo, o tráfego previsto para o período de projeto atual é de $N_{USACE} = 2,42 \times 10^6$. O mesmo será confrontado posteriormente através da contagem de tráfego efetuada na Etapa 5.

Quadro 4.3 – Crescimento do $N_{8,2f}$ para o ano de abertura ao tráfego em 2012.

Ano	Número $N_{8,2f}$	
	Anual	Acumulado
2012	1,96E+05	1,96E+05
2013	2,05E+05	4,02E+05
2014	2,15E+05	6,17E+05
2015	2,25E+05	8,41E+05
2016	2,35E+05	1,08E+06
2017	2,46E+05	1,32E+06
2018	2,57E+05	1,58E+06
2019	2,69E+05	1,85E+06
2020	2,81E+05	2,13E+06
2021	2,94E+05	2,42E+06

Fonte: Elaboração própria.

4.1.2 Caracterização do segmento monitorado de Itapoá

4.1.2.1 Informações preliminares

No município de Itapoá, foi construído um segmento monitorado, localizado na rodovia SC-416 (antiga nomenclatura SC-415). A SC-416 é uma rodovia estadual que liga os municípios de Garuva e Itapoá, no litoral extremo norte catarinense. A via é o principal acesso pavimentado ao Terminal Portuário de Itapoá.

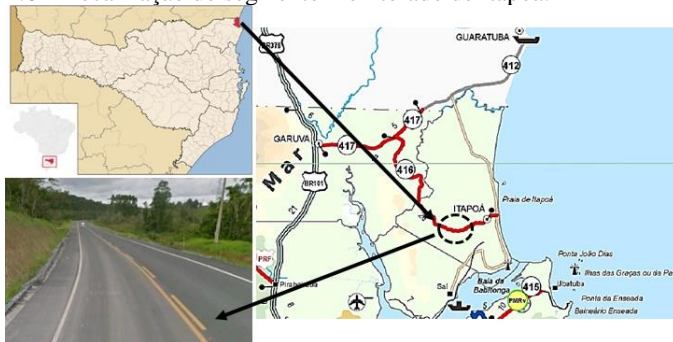
O segmento monitorado encontra-se inserido na região de maior pluviosidade do estado de Santa Catarina, alcançando valores acima de 2.400mm/ano com mais de 140 dias de chuva por ano. A altitude do trecho é de 30 m.s.n.m.

O segmento foi construído num trecho plano e em tangente, com uma extensão de 300m. A rodovia é em pista simples, com uma seção transversal de 10,5m: com 7,0m de pista de rolamento e 1,75m de acostamentos laterais.

4.1.2.2 Localização do segmento

As coordenadas do início do segmento são as seguintes: 26°07' 29.39" S e 48°38' 12.73" O. A Figura 4.6 mostra a localização dele no mapa rodoviário.

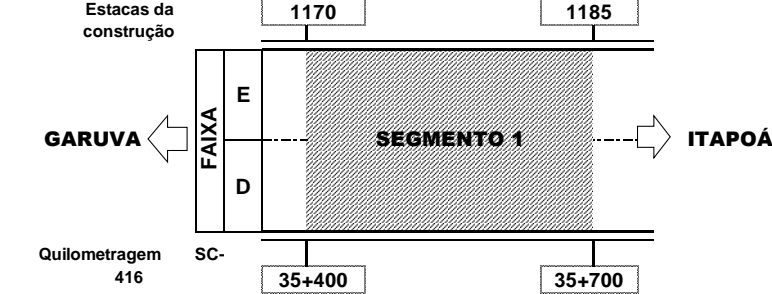
Figura 4.6 – Localização do segmento monitorado de Itapoá.



Fonte: Elaboração própria.

A Figura 4.7 mostra o esquema da localização do segmento, em referência às estacas da construção e à quilometragem da rodovia SC-416.

Figura 4.7 – Esquema de localização do segmento monitorado de Itapoá.

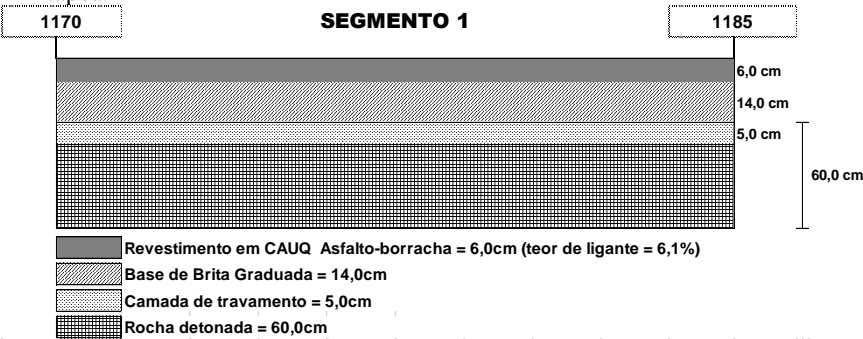


Fonte: Elaboração própria.

4.1.2.3 Configuração estrutural do segmento

A estrutura do segmento monitorado de Itapoá, consiste em 60,0cm de espessura de rocha detonada usada como camada final de terraplenagem, 14,0cm de espessura de brita graduada empregada como base e 6,0cm de espessura de revestimento com CAUQ asfalto-borracha. A Figura 4.8 apresenta a estrutura do pavimento do segmento monitorado de Itapoá.

Figura 4.8 – Estrutura do pavimento executado no segmento monitorado de Itapoá.



Fonte: Elaboração própria.

O segmento foi dimensionado segundo Método do Engº Murilo Lopes de Souza (DNER/1981). Em relação à espessura do revestimento, ela foi dimensionada como sendo uma mistura convencional.

4.1.2.4 Atualização do tráfego

O 2001, a empresa consultora SOTEPa Ltda desenvolveu o estudo de tráfego do segmento monitorado de Itapoá. A solicitação prevista para o ano de abertura ao tráfego, que inicialmente era 2004, foi de $N_{USACE}=6,49 \times 10^6$, como mostrado no Quadro 4.4.

Quadro 4.4 – Crescimento do $N_{8,2tf}$ para o ano de abertura ao tráfego em 2004.

Ano	Número "N"	
	Anual	Acumulado
2004	4,01E+05	4,01E+05
2005	4,30E+05	8,31E+05
2006	4,97E+05	1,33E+06
2007	5,51E+05	1,88E+06
2008	6,14E+05	2,49E+06
2009	6,71E+05	3,16E+06
2010	7,32E+05	3,90E+06
2011	7,90E+05	4,69E+06
2012	8,68E+05	5,56E+06
2013	9,34E+05	6,49E+06

Fonte: Adaptado de Sotepa (2001).

No entanto, a rodovia foi aberta ao tráfego no final de dezembro de 2011. Por consequência, para fins de comparação com o monitoramento do tráfego desenvolvido na Etapa 5, o número $N_{8,2tf}$ foi atualizado para o novo período de projeto, considerando 2012 como o ano de abertura ao tráfego.

Foi adotado a taxa de crescimento de tráfego de 7,41% ao ano, determinado pela SOTEPa (2001). Os fatores de equivalência de veículo USACE e AASHTO foram exibidos no Quadro 4.2.

O Quadro 4.5 apresenta o crescimento do número $N_{8,2tf}$ para um período de projeto de 10 anos. Deste modo, o tráfego previsto para o período de projeto atual é de $N_{USACE}=1,16 \times 10^7$. O mesmo será confrontado posteriormente através da contagem de tráfego efetuada na Etapa 5.

Quadro 4.5 – Crescimento do $N_{8,2tf}$ para o ano de abertura ao tráfego em 2012.

Ano	Número "N"	
	Anual	Acumulado
2012	8,68E+05	8,68E+05
2013	9,34E+05	1,80E+06
2014	9,92E+05	2,79E+06
2015	1,05E+06	3,84E+06
2016	1,11E+06	4,96E+06
2017	1,18E+06	6,14E+06
2018	1,25E+06	7,39E+06
2019	1,33E+06	8,71E+06
2020	1,41E+06	1,01E+07
2021	1,49E+06	1,16E+07

Fonte: Elaboração própria.

4.2 PROCESSO EXECUTIVO E CONTROLE TECNOLÓGICO

Neste item, apresenta-se a síntese dos dados coletados na etapa de execução dos segmentos monitorados de Urubici e Itapoá, realizado pelo Laboratório de Pavimentação da UFSC. Na sequência, apresenta-se a caracterização dos materiais utilizados na construção e o controle de execução dos segmentos.

4.2.1 Processo executivo e controle tecnológico dos segmentos monitorados de Urubici

4.2.1.1 Processo executivo

As Figuras 4.9 a 4.13 ilustram o processo executivo dos segmentos monitorados.

Visando obter as características estruturais dos segmentos, realizou-se o levantamento da bacia de deflexão das camadas que compõem a estrutura do pavimento, empregando-se a viga Benkelman.

Figura 4.9 – Execução da camada final de terraplenagem.



Fonte: Trichês (2014).

Figura 4.10 – Medida da deflexão com a viga Benkelman na camada de sub-base.



Fonte: Trichês (2014).

Figura 4.11 – Medida da deflexão e bacia de deflexão na camada base.



Fonte: Trichês (2014).

Figura 4.12 – Camada de revestimento em execução.



Fonte: Trichês (2014).

Figura 4.13 – Levantamento da bacia de deflexão na camada de revestimento.



Fonte: Trichês (2014).

a) Extração de corpos de prova e placas do revestimento asfáltico

Na fase de construção dos segmentos monitorados de Urubici, nem todos os atuais equipamentos estavam em operação no Laboratório de Pavimentação da UFSC, para a caracterização e avaliação do desempenho das misturas asfálticas. Assim, foram coletadas amostras do solo de fundação, agregados, corpos de prova e placas do revestimento asfáltico, para sua posterior caracterização. A Figura 4.14 apresenta as amostras coletadas.

Figura 4.14 – Amostras coletadas, corpos de prova moldados e extraídos e processo de extração de placas do revestimento asfáltico.



Fonte: Trichês (2014).

4.2.1.2 Caracterização dos materiais utilizados na estrutura do pavimento

a) Solo de fundação

Dos ensaios realizados com o material do subleito, definiu-se o CBR de projeto maior que 5%, conforme o indicado no Quadro 4.6.

Quadro 4.6 – Caracterização geotécnica do subleito.

Segmento	Localização (Km)	Comprimento (m)	CBRp (%)
2 e 3	76+020 - 80+000	3979,32	5,6
1	84+000 - 87+000	3000,00	5,2

Fonte: Adaptado do relatório *As Built* da obra, Engevix (2012).

b) Camada base em brita graduada

O Quadro 4.7 apresenta as características tecnológicas do agregado empregado na camada de brita graduada, a granulometria, faixa granulométrica e dados da compactação e CBR. A faixa granulométrica “I” do DEINFRA-SC equivale à faixa granulométrica “A” do DNIT.

Quadro 4.7 – Características da base de brita graduada.

Material pétreo	Tipo		Basalto		
	Abrasão (%)		14,17		
	Sanidade (%)		0,86		
	Índice de forma		1,46		
	Absorção média (%)		1,60		
Granulometria	Faixa de projeto		Faixa "I" – DEINFRA-SC		
	Composição Traço	1 1/2" - 3/4"	35%		
		3/4" - 3/16"	20%		
		Pó de pedra	45%		
		Peneiras	Porcentagem em massa, passando		
			Projeto	Faixa de trabalho	Faixa "I" DEINFRA-SC
		2"	100	100	100
		1 1/2"	99,1	92,1 - 100	90 - 100
		1"	87,4	80,4 - 90,0	75 - 90
		3/4"	-	-	-
		1/2"	-	-	-
		3/8"	58,1	51,1 - 65,0	30 - 65
		4	47,2	42,2 - 52,2	25 - 55
		10	27,2	22,2 - 32,2	15 - 40
		40	11,7	8,7-11,7	8 - 20
		80	-	-	-
		200	6,2	4,2 - 8,0	2 - 8
Características da compactação	Densidade real		2,914		
	Densidade aparente		2,787		
	Massa específica aparente seca máxima MEAS _{max} (g/cm ³)		2,253		
	Umidade ótima (%)		4,0		
	Nº Golpes		75,0		
	I.S.C. (%)		237,0		
	Índice de degradação (%)		1,95		
	Equivalente de areia (%)		81,7		
	Nº Passadas		(04) (08)		
	Rolo (marca/modelo)		Dynapac CA-25(08) / 01 AP-26 - Muller/Pneus (04)		

Fonte: Adaptado do relatório *As Built* da obra, Engevix (2012).

c) *Mistura Asfáltica*

A continuação, apresentam-se as características tecnológicas do ligante, do agregado empregado na camada de revestimento asfáltico e da faixa granulométrica das misturas asfálticas. Todas as misturas foram projetadas segundo a Metodologia Marshall.

As características do ligante convencional CAP 50/70 e ligante asfalto-borracha, são apresentados, respectivamente, nos Quadros 4.8 e 4.9.

Quadro 4.8 – Caracterização do CAP 50/70.

Controle	Especificado projetado	Carga			
Tipo	CAP 50/70	1	2	3	4
Viscosidade Saybolt - Furol, 135°C.	141 min.	174,0	180,5	145,5	145,5
Penetração (0,1 mm)	50 a 70	52,0	56,0	57,0	57,0

Fonte: Adaptado do relatório *As Built* da obra, Engevix (2012).

Quadro 4.9 – Caracterização do CAPFLEX-B.

Controle	Especificado Projetado	Carga			
Tipo	CAPFLEX-B	1	2	3	4
Viscosidade Brookfield a 175°C, <i>spindle</i> 3, 20 RPM, máx., cP	2200 - 4000	3512,0	3435,0	3624,0	3702,0
Ponto de amolecimento	55°C min.	55,0	55,0	55,0	55,0
Penetração (0,1 mm)	35 a 70	37,0	38,0	36,0	37,0
Recuperação elástica	50% min.	51,0	52,0	51,0	52,0

Fonte: Adaptado do relatório *As Built* da obra, Engevix (2012).

Os dados do projeto da mistura da massa fina empregado no segmento monitorado 1, encontram-se no Quadro 4.10.

No Quadro 4.11 apresentam-se as características do projeto da mistura asfalto-borracha.

Quadro 4.10 – Características do CAUQ massa fina.

Quadro 1 - Características do CPOQ massa fina						
Material pétreo	Tipo		Basalto			
	Abrasão (%)		17,00			
	Sanidade (%)		0,86			
	Lamelar/Índice de forma 25% >0,4		1,46			
	Adesividade c/dope (%)		0,20			
	Dope (Marca)		"Capdop" Concentrado (PETROBRAS)			
	Absorção (%)		1,40			
Agregados	Densidade real		2,916			
	Densidade aparente		2,740			
	Densidade areia		1,620			
	Características da mistura					
	Serviços/Faixa de projeto		Acostamentos, Camada de Regularização e Acessos / CAUQ - Massa Fina / Faixa "F" DEINFRA-SC			
	Produto utilizado		CAP 50-70			
Projeto da mistura	Composição Traço	3/8" - 3/16"		25,0%		
		Pó de pedra		64,0%		
		Areia		10,0%		
		Cal CH-1		1,0%		
		Peneiras	Porcentagem em massa, passando			
			Projeto	Faixa de trabalho	Faixa "F" DEINFRA	
		3/8"	100	100	100	
		4	87,6	82,6 - 92,6		75,0 - 100
		10	58,8	53,8 - 63,8		50,0 - 90,0
		40	26,2	21,2 - 31,2		20,0 - 50,0
		80	11,3	8,3 - 14,3		7,0 - 28,0
		200	7,6	5,6 - 9,6		3,0 - 10,0
	Características Marshall	Densidade máxima teórica		2,530		
Densidade aparente		2,450				
Teor de asfalto (%)		5,6				
VAM (%) ⁽ⁱ⁾		17,0				
Vv (%) ⁽ⁱⁱ⁾		3,3				
RBV (%) ⁽ⁱⁱⁱ⁾		80,0				
Estabilidade (Kgf)		1350,0				
Fluência (1/100 Pol.)		11,4				
Equivalente de areia (%)		68,4				
Finos/ligante		1,4				

Observações referentes ao 4.10:

- (i) VAM = Porcentagem de vazios nos agregados minerais;
- (ii) Vv = Porcentagem de vazios;
- (iii) RBV = Relação Betume Vazios.

Fonte: Adaptado do relatório *As Built* da obra, Engevix (2012).

Quadro 4.11 – Parâmetros físicos e volumétricos do CAUQ com asfalto - borracha.

Material pétreo	Tipo		Basalto		
	Abrasão (%)		17,00		
	Sanidade (%)		0,86		
	Lamelar/Índice de forma 25% >0,4		1,46		
	Adesividade c/dope (%)		0,20		
	Dope (Marca)		"Capdop" Concentrado (PETROBRAS)		
	Absorção (%)		1,40		
Agregados	Densidade real		2,916		
	Densidade aparente		2,740		
	Densidade areia		1,620		
	Características da mistura				
Serviços/Faixa de projeto			Camada de rolamento		
Produto utilizado			CAPFLEX - B		
Projeto da mistura	Composição Traço	3/4 (Brita 1)		17,0%	
		3/8 (Pedrisco 1)		36,0%	
		Pó de pedra		40,0%	
		Areia		6,0%	
		Cal CH-1		1,0%	
	Peneiras	Porcentagem em massa, passando			
		Projeto	Faixa de trabalho	Faixa "C" DNIT 031/2004-ES	
		3/4"	100	100	100
		1/2"	93,3	90,0 - 100	90 - 100
		3/8"	88,9	81,9 - 93,0	76 - 93
		4	62,1	57,1 - 67,1	44 - 74
		10	35,2	30,2 - 40,2	25 - 55
		40	17,3	12,3 - 22,3	9 - 27
		80	8,7	5,7 - 11,7	4 - 17
		200	6,2	4,2 - 8,2	2 - 10
		Características Marshall	Densidade máxima teórica		2,571
Densidade aparente			2,452		
Teor de asfalto (%)			5,80		
VAM (%)			17,80		
Vv (%)			3,90		
RBV (%)			76,90		
Estabilidade (Kgf)			1585,0		
Fluência (1/100 Pol.)			12,50		
Equivalente de areia (%)			73,00		
Finos/ligante			1,07		

Fonte: Adaptado do relatório *As Built* da obra, Engevix (2012).

Durante a fase da obra, foi aprovada pelo DEINFRA-SC a execução do segmento monitorado 3, com o revestimento de 6,0cm de espessura em mistura convencional CAP 50/70. Os Quadros 4.12 e 4.13 apresentam a faixa granulométrica e os parâmetros volumétricos da mistura.

Quadro 4.12 – Faixa granulométrica da mistura convencional CAP 50/70.

Granulometria da mistura			Faixa "D" DEINFRA-SC	
Peneira	mm	% Pass.	Min	Max
3/4"	19,10	100,0	100	100
1/2"	12,70	95,9	90	100
3/8"	9,50	82,0	76	93
4	4,80	62,6	44	74
10	2,00	36,7	25	55
40	0,42	18,7	9	27
80	0,18	10,0	4	17
200	0,075	6,7	2	10

Fonte: Trichês (2014).

Quadro 4.13 – Características da mistura asfáltica convencional CAP 50/70.

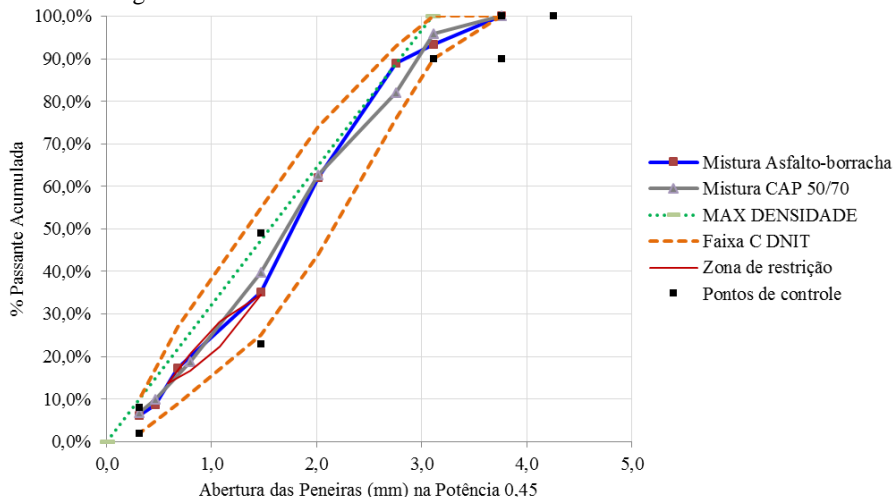
Parâmetros	Valores
Massa específica aparente (g/cm^3)	2,422
Teor de ligante de projeto (%)	5,7
Volume de vazios (%)	4,07
RBV (%)	76,63
Estabilidade (Kg)	1147,0
Fluência (mm)	10,1
Densidade do CAP	1,041

Fonte: Trichês (2014).

A Figura 4.15 apresenta as curvas granulométricas da mistura asfalto-borracha e CAP 50/70 dos segmentos monitorados de Urubici, segundo a especificação Superpave. Optou-se por esta representação, para observar a graduação das curvas em relação à linha de máxima densidade. Note-se que ambas granulometrias se desenvolvem muito próximas em relação aos agregados miúdos. Não obstante, a mistura asfalto-borracha evolui quase paralelamente à linha de máxima densidade, em relação à mistura com ligante convencional CAP 50/70, denotando uma graduação mais densa. O tamanho nominal máximo é de 3/8" (9,5mm) e 1/2"

(12,5mm) para a mistura asfalto-borracha e convencional CAP 50/70, respectivamente.

Figura 4.15 – Curva granulométrica da mistura asfalto-borracha e mistura CAP 50/70 dos segmentos monitorados de Urubici.



Fonte: Elaboração própria.

4.2.1.3 Controle tecnológico das camadas do pavimento

a) Camada final de terraplenagem

Os resultados do controle tecnológico da camada do subleito, encontram-se no Quadro 4.14.

Quadro 4.14 – Controle da camada de regularização do subleito.

SEGMENTO	Estaca	Projeto	Laboratório				Classificação	Granulometria					Densidade <i>in situ</i>		
		I.S.C. ⁽ⁱ⁾ (%)	Umid. Ót. ⁽ⁱⁱ⁾ (%)	MEAS _{máx} ⁽ⁱⁱⁱ⁾ (g/cm ³)	I.S.C. (%)	Exp. ^(iv) (%)	TRB	3/8"	4	10	40	200	Umid. ^(v) (%)	MEAS ^(vi) (g/cm ³)	G.C. ^(vii) (%)
3 (Estaca 65-80)	63	8,4	22,0	1,578	8,4	1,23	A-2-7	100	99,1	93,0	85,8	77,6	22,3	1,586	100,5
	68	8,4	22,0	1,578	8,4	1,23	A-2-7	100	99,1	93,0	85,8	77,6	21,1	1,591	100,8
	73	8,1	22,9	1,553	8,1	1,55	A-2-7	100	98,9	93,6	83,8	75,2	20,9	1,572	101,2
	78	8,1	22,9	1,553	8,1	1,55	A-2-7	100	98,9	93,6	83,8	75,2	23,2	1,567	100,9
	83	8,1	22,9	1,553	8,1	1,55	A-2-7	100	98,9	93,6	83,8	75,2	22,1	1,561	100,5
	88	8,1	22,9	1,553	8,1	1,55	A-2-7	100	98,9	93,6	83,8	75,2	22,9	1,562	100,6
2 (Estaca 125-140)	123	8,1	21,4	1,559	8,1	0,98	A-2-7	100	97,5	91,5	73,5	65,0	21,9	1,573	100,9
	128	8,1	21,4	1,559	8,1	0,98	A-2-7	100	97,5	91,5	73,5	65,0	20,6	1,57	100,7
	133	8,1	21,4	1,559	8,1	0,98	A-2-7	100	97,5	91,5	73,5	65,0	21,2	1,576	101,1
	133	8,1	21,4	1,559	8,1	0,98	A-2-7	100	97,5	91,5	73,5	65,0	21,2	1,576	101,1
	138	8,1	21,4	1,559	8,1	0,98	A-2-7	100	97,5	91,5	73,5	65,0	21,8	1,567	100,5
	143	8,6	19,0	1,635	8,6	1	A-2-7	100	98,2	94,0	72,9	60,4	18,9	1,645	100,6
1 (Estaca 450-465)	445 a 465	-	-	-	LIBERAÇÃO VISUAL 3º CATEGORIA (ROCHA)										

Observações referentes ao 4.14:

- (i) I.S.C = Índice de Suporte Califórnia;
- (ii) Umid. Ót. = Umidade ótima;
- (iii) MEAS_{máx} = Massa específica aparente seca máxima nas condições de umidade ótima;
- (iv) Exp.= Expansão;
- (v) Umid. = Umidade de campo;
- (vi) MEAS = Massa específica aparente seca de campo;
- (vii) G.C. = Grau de compactação.

Fonte: Adaptado do relatório *As Built* da obra, Engevix (2012).

A regularização do subleito seguiu as exigências da norma DEINFRA-SC ES-P 01/16 (DEINFRA-SC, 2016b), verificando uma expansão menor a 1,6%, desvio padrão da umidade *in situ* de 0,73% em relação à umidade ótima de laboratório e grau de compactação superior a 100%.

b) Camada de sub-base

A execução da camada sub-base foi feita em macadame seco e a execução seguiu o especificado na norma DEINFRA-SC ES-P 03/15 (DEINFRA-SC, 2015). A sua liberação era feita de forma visual.

c) Camada de base

O Quadro 4.15 apresenta o controle tecnológico de execução da camada de base na região onde estão inseridos os segmentos monitorados.

Quadro 4.15 – Controle tecnológico da camada base.

SEGMENTO	Estaca	Pista de controle		Granulometria								EA ⁽ⁱ⁾ (%)	Densidade <i>in situ</i>		
		Umid. Ót. (%)	MEAS (g/cm ³)	11/2"	1"	3/8"	4	10	40	200			Umid (%)	MEAS (g/cm ³)	G.C (%)
3 (Estaca 65-80)	61	4,0	2,253	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,2	2,271	100,8
	66	4,0	2,253	100	93,5	60,2	49,8	29,7	9,7	4,2	68,0	4,1	2,273	100,9	
	71	4,0	2,253	100	92,9	54,1	39,8	23,5	8,6	4,2	68,0	4,3	2,280	101,2	
	76	4,0	2,253	100	91,9	55,6	42,7	23,9	8,0	4,3	66,4	4,6	2,262	100,4	
	81	4,0	2,253	100	93,1	55,6	42,8	25,4	9,2	4,5	68,5	4,1	2,264	100,5	
	86	4,0	2,253	100	94,3	61,7	47,0	28,4	10,1	4,7	68,9	3,5	2,269	100,7	
2 (Estaca 125- 140)	116	4,0	2,253	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,1	2,264	100,5
	121	4,0	2,253	100	92,6	47,9	34,3	21,2	8,0	4,6	69,8	3,9	2,260	100,3	
	126	4,0	2,253	100	94,2	39,5	26,3	16,2	8,9	4,9	65,9	3,6	2,280	101,2	
	131	4,0	2,253	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3	2,262	100,4
	136	4,0	2,253	100	93,9	42,9	32,8	20,1	8,0	4,6	67,8	3,9	2,273	100,9	
	141	4,0	2,253	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,5	2,267	100,6
1 (Estaca 450- 465)	146	4,0	2,253	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,2	2,280	101,2
	446	4,0	2,253	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,9	2,260	100,3
	451	4,0	2,253	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,6	2,267	100,6
	456	4,0	2,253	100	93,7	61,3	48,3	26,1	9,0	4,5	69,0	4,2	2,280	101,2	
	461	4,0	2,253	100	93,7	44,9	34,7	21,8	8,0	4,3	68,2	3,7	2,262	100,4	
	466	4,0	2,253	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,8	2,273	100,9
	471	4,0	2,253	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3	2,280	101,2

Observações referentes ao Quadro 4.15:

(i) E.A. = Equivalente de areia.

Fonte: Adaptado do relatório *As Built* da obra, Engevix (2012).

A execução da camada base seguiu os parâmetros de controle da norma DEINFRA-SC ES-P 11/16 (DEINFRA-SC, 2016c) verificando-se um desvio padrão da umidade in situ de 0,31% em relação à umidade ótima de laboratório e grau de compactação superior a 100%.

d) Camada de revestimento

O Quadro 4.16 apresenta o controle tecnológico de execução da camada de revestimento.

Quadro 4.16 – Controle tecnológico da camada de revestimento.

SEGMENTO	Estaca	Espessura média em campo (cm)	Espessura de projeto (cm)	MEAS (g/cm ³)		G.C. (%)	RT ⁽ⁱ⁾ (MPa)
				Pista	Projeto		
3 (Estaca 65-80)	79	6,10	6,0	2,41	2,47	97,40	-
	74	6,28	6,0	2,43	2,47	98,10	-
	69	6,23	6,0	2,41	2,47	97,30	1,05
	64	6,05	6,0	2,42	2,45	98,60	0,98
2 (Estaca 125-140)	144	6,15	6,0	2,37	2,45	96,8	-
	139	6,30	6,0	2,39	2,45	97,3	1,13
	134	6,10	6,0	2,40	2,45	97,7	-
	129	6,28	6,0	2,40	2,45	97,0	-
	124	4,10	4,0	2,38	2,45	97,2	-
1 (Estaca 450-465)	469	4,23	4,0	2,38	2,45	97,10	1,23
	464	4,10	4,0	2,41	2,45	98,40	-
	459	4,48	4,0	2,39	2,45	97,50	-
	454	4,15	4,0	2,40	2,45	97,90	1,19
	449	4,33	4,0	2,39	2,45	97,50	-
	444	4,58	4,0	2,39	2,45	97,40	-

Observações referentes ao Quadro 4.16:

(i) RT = Resistência à tração por compressão diametral.

Fonte: Adaptado do relatório *As Built* da obra, Engevix (2012).

Segundo a norma DEINFRA-SC ES-P 05/16 (DEINFRA-SC, 2016a) não é permitido Grau de Compactação (GC) inferior a 97% ou superior a 101%, em relação à massa específica aparente do projeto da mistura. Por tanto, todos os segmentos monitorados atendem esta exigência, apresentando em média GC de 97,6%, 97,0% e 97,8%, para os segmentos 1, 2 e 3, respectivamente. Note-se que o GC do segmento monitorado 2 fica no limite mínimo de aceitabilidade, situação que acrescenta o desvio

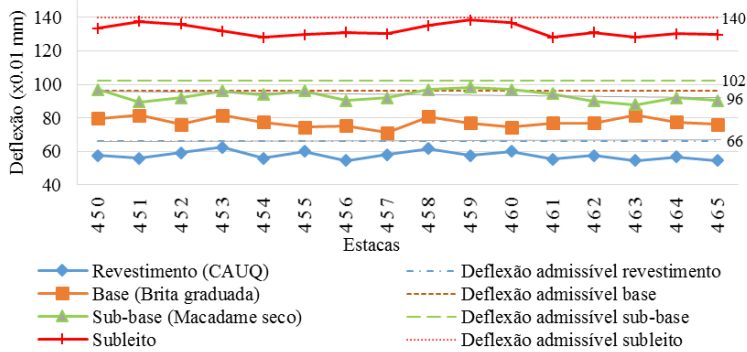
padrão da deflexão neste segmento, como pode ser observado no Quadro 4.18.

e) Controle deflectométrico

As Figuras de 4.16 a 4.21 apresentam as medidas de deflexão com viga Benkelman em cada camada da estrutura do pavimento.

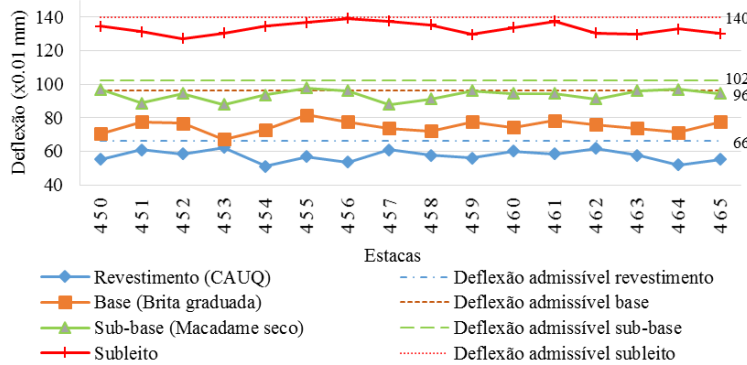
Os valores de deflexão característica admissível definidos para cada camada, foram determinadas na pista de controle executado no início da obra.

Figura 4.16 – Controle deflectométrico segmento monitorado 1 - Faixa direita.



Fonte: Adaptado do relatório *As Built* da obra, Engevix (2012).

Figura 4.17 – Controle deflectométrico, segmento monitorado 1 - Faixa esquerda.



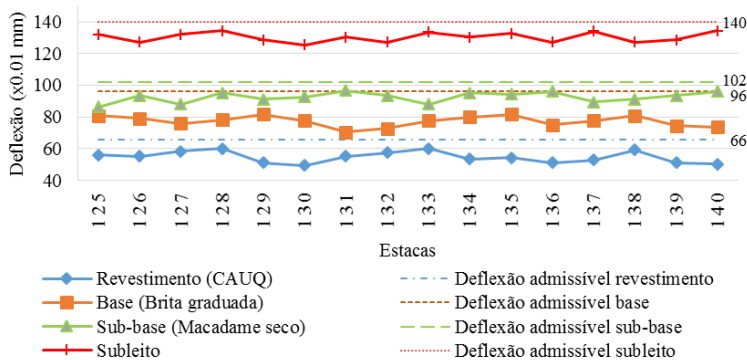
Fonte: Adaptado do relatório *As Built* da obra, Engevix (2012).

Quadro 4.17 – Deflexões obtidas com a viga Benkelman - segmento monitorado 1.

Segmento 1	CAUQ		Base		Sub-base		Subleito	
	LD	LE	LD	LE	LD	LE	LD	LE
Deflexão média (0,01mm)	57,6	57,4	77,4	74,9	93,4	93,6	132,3	133,1
Desvio Padrão (0,01mm)	2,5	3,4	3,0	3,7	3,2	3,2	3,6	3,5
Deflexão característica (0,01mm)	60,1	60,7	80,4	78,6	96,6	96,8	135,8	136,7
Coefficiente de variação (%)	4,4	5,9	3,9	4,9	3,4	3,4	2,7	2,7
Deflexão característica admissível (0,01mm)	66		96		102		140	

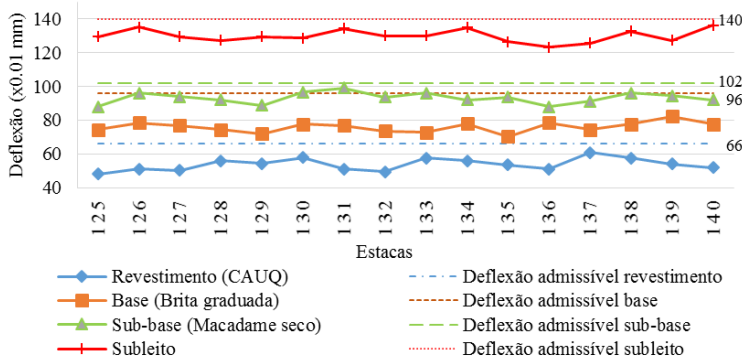
Fonte: Elaboração própria.

Figura 4.18 – Controle deflectométrico, segmento monitorado 2 - Faixa direita.



Fonte: Adaptado do relatório *As Built* da obra, Engevix (2012).

Figura 4.19 – Controle deflectométrico, segmento monitorado 2 - Faixa esquerda.



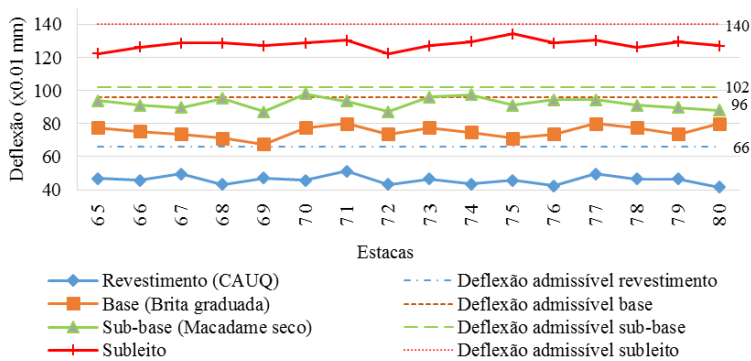
Fonte: Adaptado do relatório *As Built* da obra, Engevix (2012).

Quadro 4.18 – Deflexões obtidas com a viga Benkelman - segmento monitorado 2.

Segmento 2	CAUQ		Base		Sub-base		Subleito	
	LD	LE	LD	LE	LD	LE	LD	LE
Deflexão média (0,01mm)	54,8	53,9	77,4	76,0	92,6	93,2	130,4	130,1
Desvio Padrão (0,01mm)	3,5	3,6	3,4	3,0	3,2	3,2	3,0	3,8
Deflexão característica (0,01mm)	58,3	57,4	80,7	79,0	95,8	96,5	133,4	133,8
Coefficiente de variação (%)	6,5	6,6	4,4	4,0	3,5	3,5	2,3	2,9
Deflexão característica admissível (0,01mm)	66		96		102		140	

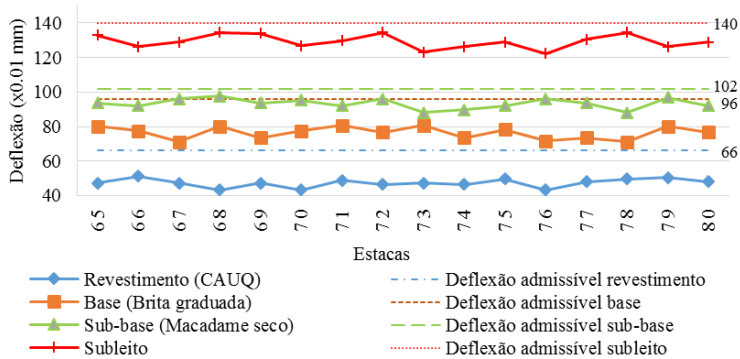
Fonte: Elaboração própria.

Figura 4.20 – Controle deflectométrico, segmento monitorado 3 - Faixa direita.



Fonte: Adaptado do relatório *As Built* da obra, Engevix (2012).

Figura 4.21 – Controle deflectométrico, segmento monitorado 3 - Faixa esquerda.



Fonte: Adaptado do relatório *As Built* da obra, Engevix (2012).

Quadro 4.19 – Deflexões obtidas com a viga Benkelman - segmento monitorado 3.

Segmento 3	CAUQ		Base		Sub-base		Subleito	
	LD	LE	LD	LE	LD	LE	LD	LE
Deflexão média (0,01mm)	45,9	47,3	75,3	76,5	92,4	93,3	128,1	129,3
Desvio Padrão (0,01mm)	2,7	2,5	3,6	3,5	3,5	3,0	2,9	3,9
Deflexão característica (0,01mm)	48,6	49,8	78,9	80,0	95,9	96,2	131,0	133,2
Coefficiente de variação (%)	5,9	5,2	4,8	4,6	3,8	3,2	2,3	3,0
Deflexão característica admissível (0,01mm)	66		96		102		140	

Fonte: Elaboração própria.

Nos Quadros de 4.17 ao 4.19, pode-se observar que os valores das deflexões médias da camada final de terraplenagem, sub-base, base e revestimento não apresentam muita dispersão entre faixas do mesmo segmento. Em relação à deflexão medida no revestimento, observa-se que no segmento 1 (estacas 450 – 465) e segmento 2 (estacas 125 – 140) são maiores que a deflexão medida no segmento 3 (estacas 65 a 80). Esta diferença é explicada pelo fato que no segmento 3, foi empregada mistura convencional com módulo resiliente médio de 7289 MPa, enquanto que nos segmentos 1 e 2, foi empregada mistura asfalto-borracha com módulo resiliente médio igual a 4628 MPa, resultando, então, em uma deflexão maior.

4.2.2 Processo executivo e controle tecnológico do segmento monitorado de Itapoá

4.2.2.1 Processo executivo

a) Camada final de terraplenagem

As Figuras 4.22 e 4.23 mostram o processo executivo da camada final de terraplenagem em rocha detonada, de origem gnáissica. Pode-se observar nas fotos, a condição de umidade elevada do solo da camada final de aterro.

Figura 4.22 – Aspecto da condição de umidade elevada da camada de aterro que recebeu a camada de rocha detonada.



Fonte: Trichês (2014).

Figura 4.23 – Execução da camada de rocha detonada.



Fonte: Trichês (2014).

Este tipo de camada é adotado em algumas regiões do estado de Santa Catarina em função da alta pluviosidade e umidade relativa do ar, gerando dificuldades em se conseguir atender às especificações construtivas para a camada final de terraplenagem quando se utiliza solo.

b) Extração de corpos de prova e placas do revestimento asfáltico

Como pode-se depreender das Figuras 4.22 e 4.23, o solo do subleito se encontrava numa condição de umidade muito elevada. Nessas condições de umidade de campo, não é possível realizar o ensaio de módulo resiliente em laboratório, pois os corpos de prova para os níveis de tensões aplicados, rompem por excesso de pressão neutra e deformação permanente, levando à ruptura dos corpos de prova ainda na fase de condicionamento.

Somente foi extraído corpos de prova do revestimento asfáltico. Por motivos alheios à vontade, não foi possível a extração de placas do revestimento asfáltico (TRICHÊS, 2014).

4.2.2.2 Caracterização dos materiais utilizados na estrutura do pavimento

a) *Solo de fundação*

Conforme aos estudos geotécnicos, no segmento de Itapoá definiu-se o CBR de projeto maior que 9%, como é indicado no Quadro 4.20.

Quadro 4.20 – Caracterização geotécnica do subleito.

Estacas	Extensão (m)	CBRp (%)
664+00 - 1250+00	11720,0	9,6
1250+00 - 1376+16,7	2537,0	9,6

Fonte: Adaptado do relatório *As Built* da obra, SOTÉPA (2012).

b) *Camada em rocha detonada*

A camada em rocha detonada foi executada com material vindo diretamente da bancada de exploração da pedreira, sendo que era feito uma seleção previa do tamanho máximo do agregado (40-50cm), pelo próprio operador da escavadeira hidráulica. A Figura 4.24 ilustra o espalhamento da camada com trator de esteira.

Figura 4.24 – Espalhamento da camada em rocha detonada.



Fonte: Trichês (2014).

Sobre a camada de rocha detonada, era espalhada uma camada de material britado mais fino (espessura aproximada de 5-10cm), para

preencher os vazios intergranulares da parte superior desta camada, propiciando o travamento dos agregados para aumentar a estabilidade do arranjo estrutural, conforme exposto na Figura 4.25.

Figura 4.25 – Travamento da camada de rocha detonada.



Fonte: Trichês (2014).

Como pode ser observado na Figura 4.25, a compactação da camada de rocha detonada e do material de travamento foi feita somente pela própria atuação do tráfego da obra. Há uma grande dificuldade para a certificação da qualidade estrutural deste tipo de camada, sendo necessário uma especificação apropriada para o controle tecnológico deste serviço.

c) Camada de base em brita graduada

O Quadro 4.21 apresenta as características tecnológicas do agregado empregado na camada de base (brita graduada), a granulometria, a faixa granulométrica, dados da compactação e CBR. A faixa granulométrica “I” do DEINFRA-SC, equivalente à faixa granulométrica “A” do DNIT.

Quadro 4.21 – Características do agregado empregado na camada de base.

Material pétreo	Tipo		Gnaisse	
	Abrasão (%)		25,4	
	Sanidade (%)		0,65	
	Lamelar/Índice de forma 25% >0,4		8,0 / 2,25	
	Absorção (%)		0,54	
Granulometria	Faixa de projeto		Faixa "I" DEINFRA-SC	
	Peneiras	Porcentagem em massa, passando		
			Projeto	Faixa "I" DEINFRA
		1 1/2"	100	90 - 100
		1"	78,1	70 - 95
		3/8"	52,4	30 - 65
		4	42,3	25 - 55
		10	28,2	15 - 40
		40	13,4	8 - 20
Características da compactação	200		3,9	2 - 9
	Densidade real		2,763	
	Densidade aparente		2,728	
	Massa específica aparente seca máxima MEAS _{max} (g/cm ³)		2,248	
	Umidade ótima(%)		6,5	
	Nº Golpes		ID P/ 74 Golpes = 4,6% ⁽ⁱ⁾	
	I.S.C. (%)		146,5	
	Equivalente de areia(%)		67,5 (Espec.>55,0%)	
	Nº Passadas		12,00	
	Rolo (marca/modelo)		Combat CB 250G - 12,1 T	
	Nº Passadas		6	
	Rolo (marca/modelo)		CP 271 Dynapac - 18,0 T	

Observações referentes ao Quadro 4.21:

(i) ID = Índice de degradação para 74 golpes/camada.

Fonte: Adaptado do relatório *As Built* da obra, Sotepa (2012).

d) Mistura Asfáltica.

O Quadro 4.22 apresenta as características tecnológicas do agregado empregado na camada de revestimento asfáltico, a granulometria, faixa granulométrica da mistura, parâmetros físicos e volumétricos da mistura, segundo o relatório *As Built* da obra. A dosagem da mistura foi feita segundo a metodologia Marshall.

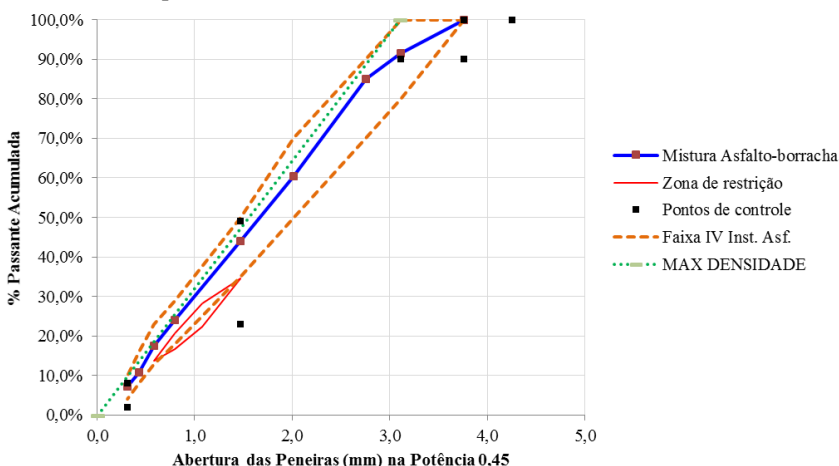
Quadro 4.22 – Parâmetros físicos e volumétricos do CAUQ asfalto-borracha.

Material pétreo	Tipo		Gnaisse		
	Abrasão (%)		26,9		
	Sanidade (%)		8,0 / 2,3		
	Lamelar/Índice de forma 25% >0,4		0,38		
Agregados	Densidade real		2,796		
	Densidade aparente		2,767		
Projeto da mistura	Características da mistura				
	Composição Traço	3/4"	20,0%		
		3/8"	25,0%		
		Pó	53,5%		
		Cal CH-1	1,50%		
		Peneiras	Porcentagem em massa, passando		
			Projeto	Faixa de trabalho	Faixa IV-B Inst. Asfalto
		3/4"	100	100 - 100	100 - 100
		1/2"	91,5	84,5 - 98,5	80 - 100
		3/8"	84,9	77,9 - 90,0	70 - 90
		4	60,4	55,4 - 65,4	50 - 70
		8	44,0	39,0 - 49,0	35 - 50
		30	24,0	19,0 - 29,0	18-29
		50	17,5	13,0 - 22,5	13 - 23
		100	10,9	8,0 - 13,9	8 - 16
	200	7,2	5,2 - 9,2	4 - 10	
	Características Marshall	Densidade máxima teórica		2,501	
Densidade aparente		2,390			
Teor de asfalto (%)		6,10			
Vv (%)		4,20 (3 a 5)			
RBV (%)		77,2 (65 a 78)			
Estabilidade (Kgf.)		1167 (> 800)			
Fluência (1/100 Pol.)		13,4 (2 - 4)			
Equivalente de areia (%)		65,2 (Especif. > 55%)			
Finos/ligante		1,18			

Fonte: Adaptado do relatório *As Built* da obra, Sotepa (2012).

A Figura 4.26 apresenta a curva granulométrica da mistura asfalto-borracha do segmento monitorado de Itapoá, de acordo à especificação Superpave. Optou-se por esta representação, para observar a graduação dos agregados em relação à linha de máxima densidade. Note-se que a curva granulométrica se desenvolve quase paralela à linha de máxima densidade. Representa desta forma, uma graduação densa que proporciona uma estabilidade superior através do contato entre as partículas e reduzidos vazios no agregado mineral. O tamanho nominal máximo desta mistura é de 3/8" (9,5mm).

Figura 4.26 – Curva granulométrica da mistura asfalto-borracha, segmento monitorado de Itapoá.



Fonte: Elaboração própria.

Segundo Bernucci *et al.* (2008), este tipo de graduação garante durabilidade, mas deve-se permitir a existência de um espaço de vazios tal que permita que um volume de ligante seja incorporado a fim de se evitar problemas de exsudação.

4.2.2.3 Controle tecnológico das camadas do pavimento

a) Camada final de terraplenagem

Como se observa no Quadro 4.23, devido à condição de umidade elevada, o controle do grau de compactação, densidade e CBR se limitou

a algumas estacas. A falta de normatização para o material utilizado fez com que a liberação dessa camada fosse feita visualmente.

Quadro 4.23 – Controle do subleito do segmento monitorado de Itapoá.

Camada	Controle	Especificado projetado	Estaca	1163	1172	1173	1175	1186
1ª Camada 0,00 a 0,60	G.C. (%)	≥ 95%			Liberação visual			
	MEAS ^{máx} Laboratório (g/cm³)				Material granular			
	MEAS <i>in situ</i> (g/cm³)				Liberação visual			
	ISC/Exp. (%)				Material granular			
2ª Camada 0,60 a 1,20	G.C. (%)	≥ 95%	95,1			95,6		95,5
	MEAS ^{máx} Laboratório (g/cm³)		1,546			1,485		1,485
	MEAS <i>in situ</i> (g/cm³)		1,470			1,420		1,419
	ISC/Exp. (%)		7,6/0,29			5,0/0,34		5,0/0,34
3ª Camada 1,20 a 1,80	G.C. (%)	≥ 95%					95,6	
	MEAS ^{máx} Laboratório (g/cm³)						1,485	
	MEAS <i>in situ</i> (g/cm³)						1,420	
	ISC/Exp. (%)						5,0/0,34	

Fonte: Adaptado do relatório *As Built* da obra, Sotepa (2012).

b) Camada de base

O Quadro 4.24 apresenta o controle tecnológico de execução da camada de base na região onde está inserido o segmento monitorado.

Quadro 4.24 – Controle tecnológico da camada base do segmento monitorado de Itapoá.

Estaca	Granulometria							EA (%)	Densidade <i>in situ</i>		
	1 1/2"	1"	3/8"	4	10	40	200		Umidade (%)	MEAS (g/cm ³)	G.C. (%)
1165	100	82,0	45,9	32,8	24,8	12,7	6,7	60,2	6,7	2,251	100,1
1169	100	82,0	45,9	32,8	24,8	12,7	6,5	60,2	6,5	2,260	100,5
1174	100	83,6	47,5	31,1	26,3	14,0	6,2	59,1	6,2	2,262	100,6
1179	100	83,6	47,5	34,1	26,3	14,0	6,4	59,1	6,4	2,264	100,7
1185	100	82,7	46,6	34,2	26,4	14,1	6,3	59,7	6,3	2,257	100,4
1193	100	82,7	46,6	34,2	26,4	14,1	6,5	59,7	6,5	2,261	100,6

Fonte: Adaptado do relatório *As Built* da obra, Sotepa (2012).

A regularização da camada base seguiu os parâmetros de controle da norma DEINFRA-SC ES-P 11/16 (DEINFRA-SC, 2016c), verificando-se um desvio padrão da umidade *in situ* de 0,18% em relação à umidade ótima de laboratório e grau de compactação superior a 100%.

c) Camada de revestimento

O Quadro 4.25 apresenta os resultados do controle tecnológico de execução da camada de revestimento na região onde está inserido o segmento em estudo.

Quadro 4.25 – Controle tecnológico da espessura e do grau de compactação.

Estaca	Espessura média em campo (cm)	Espessura de Projeto (cm)	MEAS (g/cm ³)		G.C. (%)
			Pista	Projeto	
1160	6,8	6,0	2,393	2,390	100,1
1165	5,9	6,0	2,360	2,390	98,8
1170	6,4	6,0	2,378	2,390	99,5
1175	7,3	6,0	2,332	2,390	97,6
1180	5,7	6,0	2,398	2,390	100,4
1185	6,1	6,0	2,389	2,390	100,0
1190	6,1	6,0	2,386	2,390	99,9

Fonte: Adaptado do relatório *As Built* da obra, Sotepa (2012).

Segundo a norma DEINFRA-SC ES-P 05/16 (DEINFRA-SC, 2016a) não é permitido o GC seja inferior a 97% ou superior a 101%, em relação

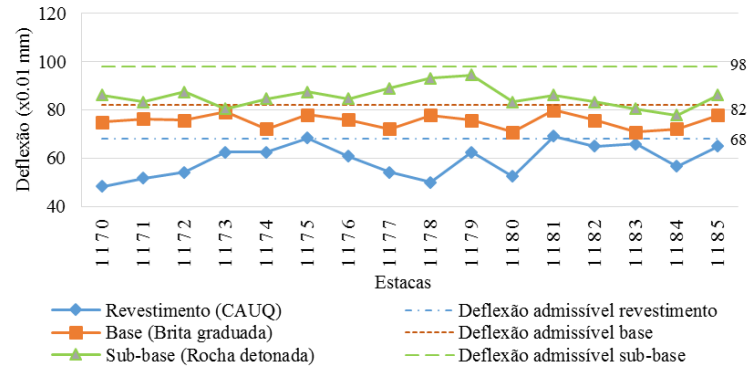
à massa específica aparente do projeto da mistura. Neste sentido, o segmento monitorado de Itapoá atende esta exigência, apresentando em média um GC de 99,5% com desvio padrão de 0,9 %.

d) *Controle deflectométrico*

A Figura 4.27 e a 4.28 e o Quadro 4.26 mostram os resultados do controle deflectométrico na região onde está inserido o segmento monitorado de Itapoá. As deflexões foram medidas com viga Benkelman.

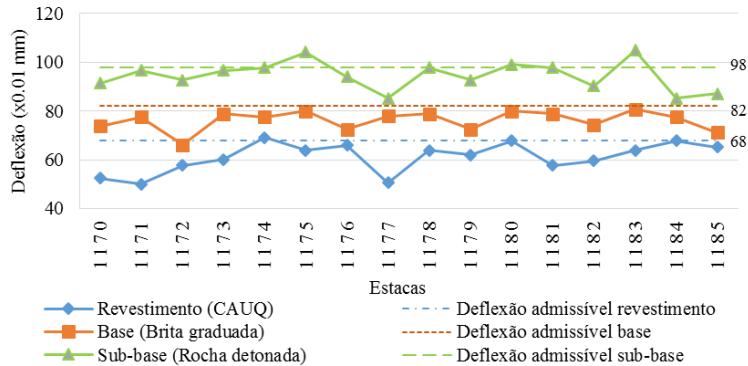
Os valores de deflexão característica admissível definidos para cada camada, foram determinadas na pista de controle executada no início da obra.

Figura 4.27 – Controle deflectométrico - Faixa direita.



Fonte: Adaptado do relatório *As Built* da obra, Sotepa (2012).

Figura 4.28 – Controle deflectométrico - Faixa esquerda.



Fonte: Adaptado do relatório *As Built* da obra, Sotepa (2012).

Quadro 4.26 – Deflexões obtidas com a viga Benkelman - segmento monitorado de Itapoá.

Segmento 1	CABUQ		Base		Sub-base	
	LD	LE	LD	LE	LD	LE
Deflexão média (0,01mm)	59,5	61,1	75,6	76,1	85,5	94,6
Desvio Padrão (0,01mm)	4,9	6,1	3,1	4,0	4,3	5,9
Deflexão característica (0,01mm)	64,4	67,2	78,7	80,2	89,9	100,5
Coefficiente de variação (%)	8,3	9,9	4,0	5,3	5,1	6,3
Deflexão característica admissível (0,01mm)	68		82		98	

Fonte: Elaboração própria.

No Quadro 4.26, pode-se observar que os valores das deflexões médias das camadas da estrutura do pavimento apresentam uma dispersão baixa.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DOS MATERIAIS NA FASE DE OBRA

A caracterização do comportamento mecânico dos materiais da estrutura do pavimento foi feita pós-execução, devido ao fato que na época em que os segmentos monitorados de Urubici e Itapoá foram executados, nem todos os atuais equipamentos estavam em operação no Laboratório de Pavimentação da UFSC. A seguir, apresentam-se os ensaios efetuados com o material coletado na Etapa 2.

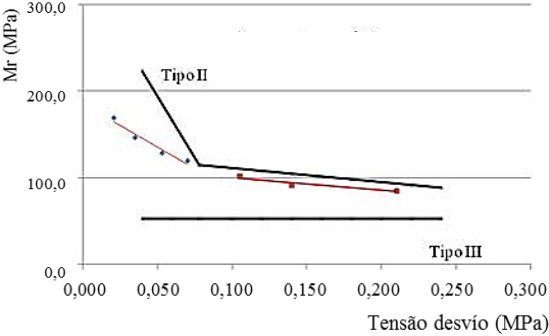
4.3.1 Segmentos de Urubici

4.3.1.1 Solo de fundação

Foram realizados 3 ensaios de módulo resiliente do solo da camada final de terraplenagem dos segmentos 2 e 3 (material proveniente de uma única jazida – alargamento de corte). O ensaio foi conduzido segundo a norma DNIT 134/2010 (BRASIL, 2010a).

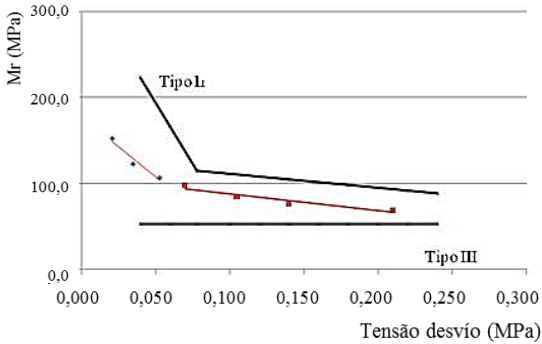
Os corpos de prova de 10x20cm foram moldados em 5 camadas, reproduzindo-se a massa específica aparente seca máxima e umidade ótima de compactação obtidas em campo. As Figuras de 4.29 a 4.31 apresentam os resultados obtidos.

Figura 4.29 – Módulo resiliente do solo de fundação - Amostra 1.



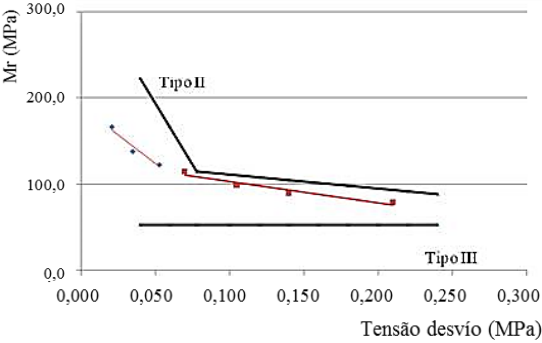
Fonte: Trichês (2014).

Figura 4.30 – Módulo resiliente do solo de fundação - Amostra 2.



Fonte: Trichês (2014).

Figura 4.31 – Módulo resiliente do solo de fundação - Amostra 3.



Fonte: Trichês (2014).

Em função dos resultados obtidos, para um nível de tensão vertical desvio esperado para a camada final de terraplenagem da ordem de 0,05MPa, o valor médio do módulo de resiliência do solo situa-se entre 100 a 130 MPa.

4.3.1.2 Camada de macadame seco

A caracterização do comportamento mecânico do macadame seco foi feita a partir da retroanálise das bacias de deformação.

4.3.1.3 Camada de brita graduada

A caracterização do comportamento mecânico da brita graduada foi feita a partir da retroanálise das bacias de deformação.

4.3.1.4 Revestimento asfáltico

Os Quadros 4.27 e 4.28, apresentam os resultados dos ensaios de resistência à tração e módulo resiliente, da mistura asfalto-borracha e da mistura asfáltica convencional CAP 50/70, respectivamente.

O ensaio foi conduzido segundo a norma DNIT 136/2010 (BRASIL, 2010c).

Quadro 4.27 – Resultado dos ensaios de módulo de resiliência da mistura asfalto-borracha dos corpos extraídos em campo.

CPs	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	MEA (g/cm ³)	RT ⁽ⁱ⁾ (MPa)	MR ⁽ⁱⁱ⁾ (MPa)	Sd ⁽ⁱⁱⁱ⁾ (MPa)	MR (MPa)	Sd (MPa)
1	63,8	10,19	2,461	-	4784	110,31	4628	137
2	67,1	10,19	2,450	-	4708	56,57		
3	63,6	10,19	2,453	-	4836	147,08		
4	64,4	10,19	2,443	0,89	-	-		
5	64,1	10,19	2,458	1,13	-	-		
6	64,5	10,19	2,453	-	4762	94,75		
7	64,4	10,19	2,452	-	4325	214,25		
8	64,0	10,19	2,446	-	4351	195,87		

Observações referentes ao Quadro 4.27:

- (i) RT = Resistência à Tração por Compressão diametral (25°C +/- 0,5°C);
- (ii) MR = Módulo resiliente médio obtido na série de ciclos de carga (entre 200 e 300 aplicações do carregamento);
- (iii) Sd = desvio padrão dos valores obtidos.

Fonte: Trichês (2014).

Quadro 4.28 – Resultado dos ensaios de módulo de resiliência da mistura asfáltica convencional CAP 50/70 dos corpos extraídos em campo.

CPs	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	MEA (g/cm ³)	RT (MPa)	MR (MPa)	Sd (MPa)	MR (MPa)	Sd (MPa)
1	5,95	10,16	2,508	-	7478	133,64	7289	526
2	5,93	10,16	2,504	-	7618	232,64		
3	5,93	10,16	2,519	1,33	-	-		
4	5,96	10,16	2,503	-	8015	513,36		
5	5,92	10,16	2,493	-	6629	466,69		
6	5,96	10,16	2,503	1,36	-	-		
7	5,95	10,16	2,513	-	7222	47,38		
8	5,96	10,16	2,501	-	6769	367,70		

Fonte: Trichês (2014).

Em relação aos resultados do ensaio de resistência à tração dos corpos de prova, note-se que a média dos valores estão acima dos limites mínimos exigidos pelas normas DNIT 031/2006 e DNIT112/2009 (BRASIL, 2009). Os valores mínimos aceitáveis são de 0,65MPa (mistura convencional 50/70) e 0,75MPa (mistura asfalto-borracha), respectivamente.

4.3.2 Segmento de Itapoá

4.3.2.1 Solo de fundação

Não foi possível realizar o ensaio de módulo resiliente do solo de fundação devido à condição de elevada umidade, conforme apresentado na seção 4.2.2.

4.3.2.2 Camada de rocha detonada

A caracterização do comportamento mecânico da rocha detonada foi feita a partir da retroanálise das bacias de deformação.

4.3.2.3 Camada de brita graduada

A caracterização do comportamento mecânico da brita graduada foi feita a partir da retroanálise das bacias de deformação.

4.3.2.4 Revestimento asfáltico

O Quadro 4.29 mostra os resultados de ensaio de resistência à tração e módulo resiliente do revestimento asfáltico dos corpos de prova moldados durante a construção.

Quadro 4.29 – Resultado do ensaio de módulo de resiliência da mistura asfalto-borracha dos corpos de prova moldados em campo.

Mistura	CPs	RT (MPa)	MEA (g/cm ³)	MR (MPa)	Sd (MPa)	MR (MPa)	Sd (MPa)
IA-4B	1	1,25	2,433	-	-	4611	494
	2	1,27	2,476	-	-		
	3	-	2,417	4135	336,6		
	4	-	2,433	5154	383,9		
	5	-	2,507	4898	202,9		
	6	-	2,476	4256	251,0		

Fonte: Trichês (2014).

Em relação aos resultados do ensaio de resistência à tração dos corpos de prova, note-se que a média dos valores estão 60% acima do limite mínimo exigido pela norma DNIT112/2009, correspondente ao valor médio de 0,75 MPa, para misturas asfalto-borracha.

4.4 CARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO MECÂNICO DAS MISTURAS ASFÁLTICAS PÓS-OBRA

4.4.1 Dano por umidade induzida

A avaliação da sensibilidade à ação deletéria da água das misturas asfálticas, foi realizada através do ensaio de Lottman Modificado.

No projeto de dosagem das misturas asfálticas dos segmentos monitorados de Urubici, foi determinado o teor de 5,80% para a mistura asfalto-borracha (segmentos monitorados 1 e 2) e 5,74% para a mistura convencional CAP 50/70 (segmento monitorado 3), conforme o relatório *As Built* da obra (ENGEVIX, 2012). Em relação ao segmento monitorado de Itapoá, o projeto de dosagem desta mistura determinou um teor de ligante de 6,10% para a mistura asfalto-borracha, conforme o relatório *As Built* da obra (SOTEP, 2012).

Primeiramente, definiu-se a massa específica aparente estimada ($G_{mb_estimada}$) para se atingir uma porcentagem de 7% de vazios nos corpos

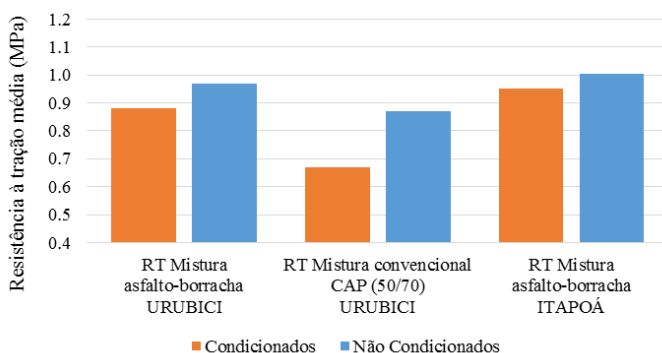
de prova moldados na PCG. Posteriormente, determinou-se o número de giros necessários para se obter a $G_{mb_estimada}$.

Definidos esses valores, no software da PCG, inseriu-se a densidade máxima teórica (DMT), a massa da mistura a ser compactada e, definiu-se como critério final de compactação o número de giros necessários para a obtenção da $G_{mb_estimada}$.

Foram moldados 6 corpos de prova para cada uma das três misturas (mistura asfalto-borracha, mistura convencional CAP 50/70 dos segmentos de Urubici, e asfalto borracha para o segmento de Itapoá).

Os resultados obtidos da resistência à tração dos grupos de corpos de prova condicionados e não condicionados são apresentados segundo a Figura 4.32.

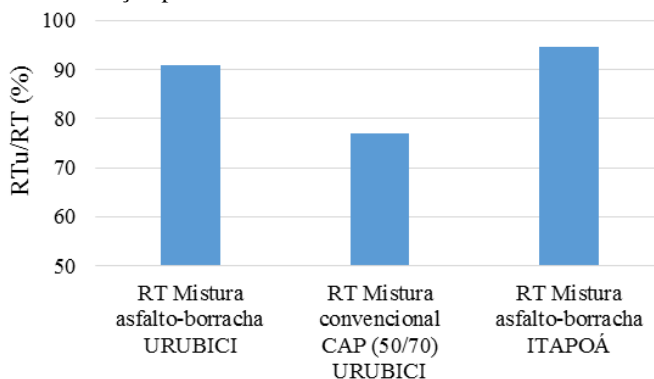
Figura 4.32 – Resistência à tração dos corpos submetidos ao ensaio de DUI.



Fonte: Elaboração própria

A avaliação do resultado do dano causado pela umidade induzida pode ser verificada na Figura 4.33. Os resultados expressam a média de três corpos de prova.

Figura 4.33 – Relação percentual RTu/RT.



Fonte: Elaboração própria.

Em relação aos danos por umidade induzida, com base nos resultados obtidos, conclui-se que todas as misturas apresentaram comportamento satisfatório. Os danos ocasionados pela umidade induzida não proporcionaram redução na resistência à tração maior que 25%.

No segmento monitorado de Urubici, observa-se uma diminuição da relação RTu/RT da mistura convencional CAP (50/70) em relação à mistura asfalto-borracha, possivelmente associada à mudança do tipo de asfalto, dado que ambas misturas utilizaram o mesmo agregado, tipo de cal e melhorador de adesividade.

No entanto, evidenciou-se a variação do comportamento da mistura asfalto-borracha do segmento de Itapoá, quando comparada à mistura asfalto-borracha empregada nos segmentos de Urubici. Esta variação pode se associar à mudança do tipo de agregado e distribuição granulométrica. De maneira geral, agregados basálticos tendem a apresentar uma melhor adesividade.

4.4.2 Moldagem de placas em laboratório

A Figura 4.34 apresenta as placas moldadas de 50x18x5cm para ensaios de deformação permanente e as placas de 60x40x9cm destinadas a obtenção dos corpos de prova do módulo complexo e fadiga. Todas as placas foram moldadas procurando atingir a massa específica aparente (G_{mb}) correspondente a 4% de vazios.

Figura 4.34 – Compactação das placas para o ensaio de deformação permanente (50x18x5) e fadiga (60x40x9).



Fonte: Elaboração própria.

Após 15 dias do processo de compactação, as placas para o ensaio de deformação permanente foram pesadas hidrostaticamente para a determinação do porcentagem do volume de vazios, conforme o Quadro 4.30.

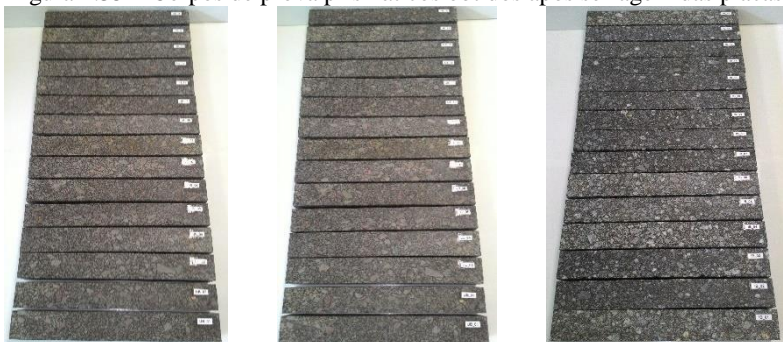
Quadro 4.30 – Volume de vazios das placas de deformação permanente.

Segmento monitorado		Tipo de ligante	Placa	Vv (%)	Espessura média (mm)
URUBICI	1 e 2	Asfalto-borracha	1	4,67	54,08
			2	4,56	52,04
	3	Convencional CAP (50/70)	1	3,65	51,30
			2	4,12	51,55
ITAPOÁ	1	Asfalto-borracha	1	3,77	51,85
			2	4,04	51,76

Fonte: Elaboração própria.

Em relação aos corpos de prova para o ensaio de módulo complexo e resistência à fadiga, após um período de cura de 15 dias as placas de 60x40x9cm foram serradas para a obtenção dos corpos de prova prismáticos de 5,0x6,3x40cm, como apresentado na Figura 4.35.

Figura 4.35 – Corpos de prova prismáticos obtidos após serragem das placas.



a) Segmento 1 e 2 Urubici

b) Segmento 3 Urubici

c) Segmento Itapoá

Fonte: Elaboração própria.

Depois da serragem dos corpos de prova prismáticos, estes foram caracterizados quanto à massa específica aparente, porcentagem do volume de vazios e dimensões. O Quadro 4.31 apresenta os resultados do porcentagem do volume de vazios para os segmentos monitorados de Urubici e Itapoá.

Do Quadro 4.31, observa-se que a média do porcentagem do volume de vazios de ambas misturas analisadas atingiu o valor de $4,0 \pm 1,5\%$. No laboratório evidenciou-se que a uma pequena variação na espessura final da placa, produz variações no porcentagem do volume de vazios, ainda que se tenha tido os maiores cuidados no processo de compactação das mesmas.

Dos 15 corpos serrados, 1 foi utilizado na caracterização reológica de cada mistura asfáltica e cerca de 10 corpos de prova, com a melhor definição de geometria, foram utilizados para os ensaios de fadiga.

Quadro 4.31 – Porcentagem do volume de vazios dos corpos de prova prismáticos - segmentos monitorados de Urubici e Itapoá.

CPs	Porcentagem de volume de vazios (%)		
	URUBICI		ITAPOÁ
	Asfalto-borracha	Convencional CAP 50/70	Asfalto-borracha
01	4,28	3,04	3,11
02	4,93	2,93	3,00
03	3,98	3,60	3,61
04	4,25	2,73	3,29
05	4,33	2,96	2,79
06	5,14	3,38	2,48
07	3,61	3,64	3,67
08	4,46	2,90	3,53
09	4,14	3,04	3,89
10	4,43	3,11	3,23
11	4,25	2,99	3,02
12	4,54	3,12	2,93
13	4,46	2,85	3,00
14	3,95	3,25	2,98
15	3,88	3,18	2,81
Média	4,31	3,11	3,16
S.V.	0,39	0,26	0,38

Fonte: Elaboração própria.

4.4.3 Ensaio de deformação permanente

4.4.3.1 Ensaio com placas moldadas em laboratório

Este ensaio avalia a resistência da mistura asfáltica à deformação permanente. Para todas as misturas avaliadas foram ensaiadas duas placas. A Figura 4.36 exibe a medição do afundamento de trilha de roda no simulador de tráfego francês, *Orniéreur*.

Figura 4.36 – Medição do afundamento de trilha de roda no simulador de tráfego *Orniéreur*.



Fonte: Elaboração própria.

O aspecto das placas após o ensaio de deformação permanente dos segmentos monitorados de Urubici e Itapoá, são ilustrados na Figura 4.37. Dessa forma, de esquerda à direita: mistura asfalto borracha – segmentos 1 e 2 Urubici; mistura convencional CAP 50/70 – segmento 3 Urubici, mistura asfalto-borracha – segmento Itapoá.

Figura 4.37 – Placas após o ensaio de deformação permanente - segmentos monitorados de Urubici e Itapoá.



Fonte: Elaboração própria.

Os resultados do ensaio de deformação permanente, para a evolução de afundamento de trilha de roda para 30.000 ciclos, são apresentados no Quadro 4.32.

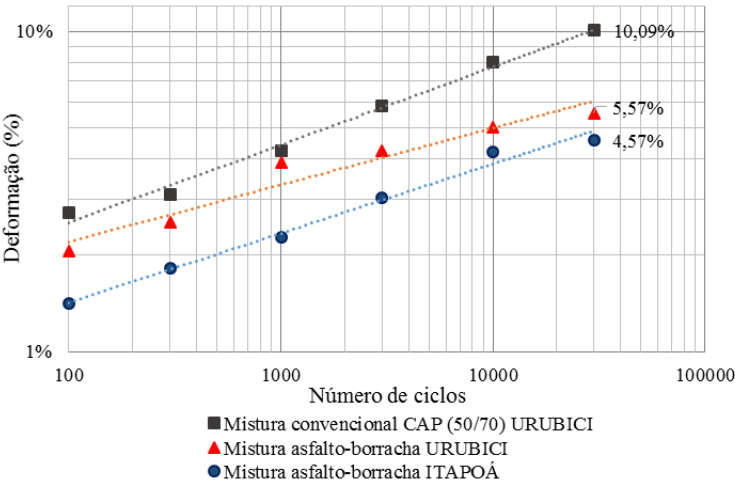
Quadro 4.32 – Resultado do ensaio de deformação permanente.

Segmento monitorado		Tipo de ligante	Teor de ligante (%)	Deformação permanente 30.000 ciclos (%)
URUBICI	1 e 2	Asfalto-borracha	5,8	5,57
	3	Convencional CAP (50/70)	5,7	10,09
ITAPOÁ	1	Asfalto-borracha	6,1	4,57

Fonte: Elaboração própria.

A Figura 4.38 apresenta as curvas deformação permanente x número de ciclos das misturas ensaiadas.

Figura 4.38 – Curva número de ciclos x deformação das misturas asfalto-borracha e convencional CAP 50/70, segmentos monitorados de Urubici.



Fonte: Elaboração própria.

A norma francesa AFNOR NF P 98-253-1 (AFNOR, 1991a) define como limite admissível uma deformação permanente menor a 10% após aplicação de 30.000 ciclos. Note-se na Figura 4.38, o resultado satisfatório do afundamento de trilha de roda para as duas misturas asfalto-borracha. No entanto, a mistura com asfalto convencional CAP 50/70, atingiu o limite especificado por norma. Esta situação aponta uma

maior susceptibilidade desta mistura, no que se refere à resistência à deformação permanente. Entretanto, há que se considerar que nos segmentos de Urubici o tráfego é baixo e a temperatura da região é baixa, o que pode minimizar o aparecimento de deformação permanente no segmento.

Segundo Fontes (2009), a melhoria no comportamento à deformação permanente das misturas asfálticas produzidas com asfalto-borracha comparativamente à mistura com ligante convencional pode ser explicada pela elevada recuperação elástica apresentada pelo ligante asfalto-borracha em relação ao ligante convencional CAP 50/70.

O afundamento da trilha de roda na camada de revestimento asfáltico está associado a diversos fatores, principalmente à formulação da composição granulométrica e a adequada dosagem da mistura (teor de ligante). Contudo, as propriedades do ligante asfáltico, assim como, a adesão entre ligante asfáltico-agregados influencia diretamente na resposta da mistura quanto à deformação permanente (MELO, 2014).

Neste sentido, observa-se na Figura 4.38 que a mistura asfalto-borracha do segmento monitorado de Itapoá apresentou o melhor desempenho à deformação permanente, quando comparada com as misturas dos segmentos de Urubici. Esta resposta no comportamento encontra-se relacionada às características do ligante asfalto-borracha e à composição granulométrica do segmento monitorado de Itapoá.

Todas as misturas analisadas neste projeto pertencem à faixa granulométrica C do DNIT. No entanto, a mistura asfalto-borracha do segmento monitorado de Itapoá apresenta uma graduação densa quase paralela à linha de máxima densidade, situação que pode ter colaborado a apresentar uma estabilidade superior, em relação à mistura asfalto-borracha do segmento de Urubici.

4.4.3.2 Ensaio com placas extraídas em campo

A Figura 4.39 ilustra as placas extraídas de campo do segmento monitorado 3 de Urubici, com dimensões dos moldes de 50x18cm. A espessura das placas retificadas variava entre 6,0 e 7,0 centímetros (variação da espessura do revestimento no campo).

Figura 4.39 – Placas extraídas e retificadas para o ensaio de deformação permanente - segmento monitorado 3.



Fonte: Trichês (2014).

O resumo das características físicas e volumétricas das placas extraídas dos segmentos de Urubici, segmento monitorado 2 (mistura asfalto-borracha) e segmento monitorado 3 (mistura asfalto convencional CAP 50/70), são detalhadas no Quadro 4.33 e 4.34, respectivamente. Optou-se por se ensaiar somente as placas dos segmentos 2 e 3, uma vez que o segmento monitorado 1 apresenta o mesmo tipo de revestimento que o segmento monitorado 2.

Quadro 4.33 – Resumo de dados da massa específica - segmento monitorado 2 (mistura asfalto-borracha).

ID	128 LD	136 LE	138 LD	139 LE
Tipo de ligante	CAPFLEX-B	CAPFLEX-B	CAPFLEX-B	CAPFLEX-B
Teor de Ligante (%)	5,8	5,8	5,8	5,8
Espessura (mm)	77,2	68,4	74,3	75,9
DMT ⁽ⁱ⁾ (g/cm ³)	2,521	2,521	2,521	2,521
Gmb ⁽ⁱⁱ⁾ projeto (g/cm ³)	2,452	2,452	2,452	2,452
Gmb pista (g/cm ³)	2,399	2,397	2,386	2,386
Peso seco da placa (g)	14,961	13,699	15,053	15,282
Volume da placa (cm ³)	6,424	5,929	6,582	6,656
Gmb placa (g/cm ³)	2,329	2,311	2,287	2,296
GC pista (%)	97,8	97,8	97,3	97,3
Vv placa (%)	7,6	8,3	9,3	8,9
GC placa (%)	95,0	94,2	93,3	93,6

Observações referentes ao Quadro 4.33:

(i) DMT = Densidade Máxima Teórica;

(ii) Gmb = Massa específica aparente de uma mistura asfáltica compactada.

Fonte: Trichês (2014)

Quadro 4.34 – Resumo de dados da massa específica - segmento monitorado 3 (mistura asfalto convencional CAP 50/70).

ID	67 LE	72 LD	75 LE	77 LD
Tipo de ligante	CAP 50/70	CAP 50/70	CAP 50/70	CAP 50/70
Teor de Ligante (%)	5,8	5,8	5,8	5,8
Espessura (mm)	53,2	53,6	71,8	61,7
DMT (g/cm ³)	2,575	2,575	2,575	2,575
Gmb projeto (g/cm ³)	2,472	2,472	2,472	2,472
Gmb pista (g/cm ³)	2,405	2,426	2,426	2,407
Peso seco da placa (g)	11,229	11,252	14,635	12,675
Volume da placa (cm ³)	4,648	4,712	6,219	5,355
Gmb placa (g/cm ³)	2,416	2,388	2,353	2,367
GC pista (%)	97,3	98,1	98,1	97,4
Vv placa (%)	6,2	7,3	8,6	8,1
GC placa (%)	97,7	96,6	95,2	95,8

Fonte: Adaptado de Trichês (2014).

O grau de compactação das placas da mistura asfalto-borracha é, em média, de 94,0%, e das placas de mistura convencional, é de 96,3%, ou seja, em média as placas com asfalto-borracha ficaram com cerca de 2,3 pontos percentuais abaixo do grau de compactação das placas com mistura convencional. Esta variação pode estar associado as condições climáticas da região. Os segmentos monitorados de Urubici estão localizados na região mais fria do estado de Santa Catarina (e do Brasil). É possível que o fato da mistura com asfalto-borracha necessitar de temperaturas de usinagem maiores, ao ser espalhada atrás da vibroacabadora, a taxa de perda de temperatura é elevada, aumentando rapidamente a viscosidade do ligante e perdendo-se eficiência na compactação.

Os moldes disponíveis para o ensaio de deformação permanente são de 5,0 e 10,0 cm de altura, enquanto que espessura das placas variava entre 6,0 a 7,0cm. O processo de retificação da altura dos corpos de prova oferece riscos a sua integridade. Portanto, optou-se pela adição de uma camada de argamassa de cimento Portland na base do corpo de prova (parte que não seria colocada em contato com o pneumático do equipamento de ensaio), de espessura suficiente para que o corpo de prova fosse adequado à altura do molde de 10,0cm. A Figura 4.40 ilustra as placas acondicionadas nos moldes.

Figura 4.40 – Retificação de altura dos corpos de prova com camada de argamassa para o ensaio de deformação permanente.

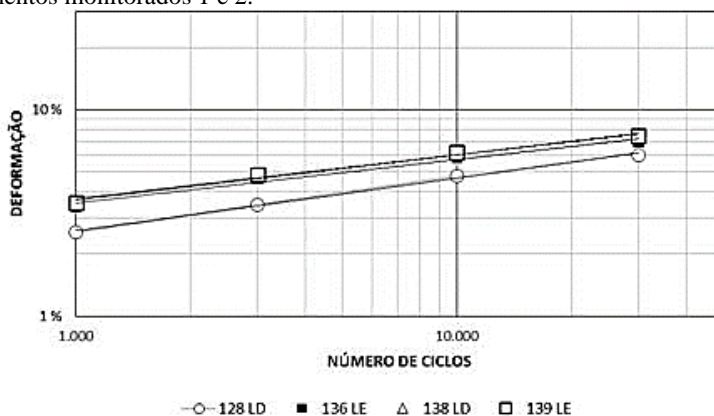


Fonte: Trichês (2014).

O ensaio de deformação permanente seguiu o procedimento já descrito da norma francesa AFNOR – NF P 98 253-1. As Figuras 4.41 e 4.42, mostram as curvas de deformação x número de ciclos dos ensaios da mistura asfalto-borracha e a mistura convencional CAP 50/70, respectivamente. É possível observar que para 30.000 ciclos, as curvas da mistura asfalto-borracha ficam entre 5% e 8% de deformação permanente, enquanto as misturas com ligante convencional CAP 50/70 este valor ficou entre 8% e 11%, embora a porcentagem do volume de vazios das placas de mistura asfalto-borracha fossem maiores que a da mistura asfalto convencional.

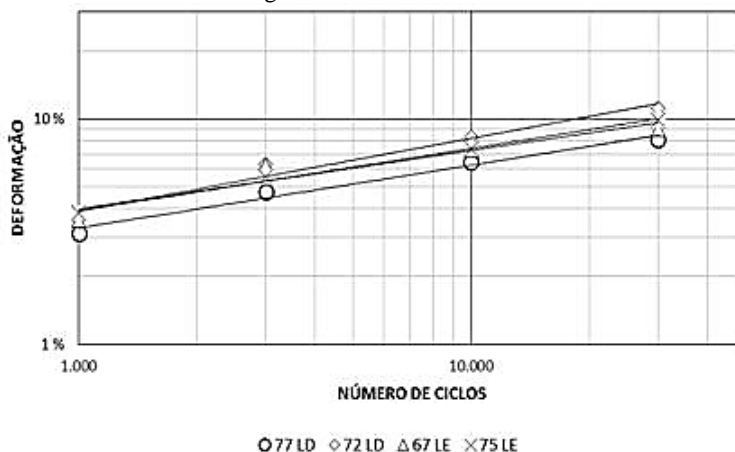
A norma recomenda, também, calcular a média entre as duas placas que foram ensaiadas ao mesmo tempo. Porém esta recomendação serve para corpos de prova produzidos em laboratório, com as mesmas características (Gmb e Vv). Como as amostras utilizadas foram coletadas em campo e em estacas diferentes, a média entre as amostras ensaiadas não resultaria em um valor representativo de campo, devido à dispersão dos pontos. Optou-se então por apresentar os valores individuais de cada placa.

Figura 4.41 – Curva número de ciclos x deformação mistura asfalto borracha - segmentos monitorados 1 e 2.



Fonte: Trichês (2014).

Figura 4.42 – Curva Número de ciclos x deformação mistura asfalto convencional CAP 50/70 - segmento monitorado 3.



Fonte: Trichês (2014).

O Quadro 4.35 apresenta o resumo da porcentagem de deformação atingida após a aplicação dos 30.000 ciclos. Segundo os resultados obtidos, a placa extraída na estaca 72 LD da mistura com ligante convencional CAP 50/70, ultrapassou o limite recomendado de deformação, estabelecido como 10%. As placas extraídas das estacas 128

LD (mistura asfalto-borracha) e 75 LE (mistura CAP 50/70) apresentaram as melhores porcentagens de deformação.

Quadro 4.35 – Resumo dos resultados do ensaio de deformação permanente - segmentos monitorados 2 e 3 (placas extraídas de campo).

Segmento	2				3			
ID	128 LD	136 LE	138 LD	139 LE	67 LE	72 LD	75 LE	77 LD
Tipo de Ligante	CAPFLEX-B				CAP 50/70			
Espessura (mm)	77,2	68,4	74,3	75,9	53,2	53,6	71,8	61,7
Deformação para 30.000 ciclos (mm)	4,56	4,81	5,58	5,68	4,88	5,90	6,12	5,86
Percentual para 30.000 ciclos (%)	5,90	7,03	7,51	7,48	9,17	11,00	8,53	9,51
Vv placa (%)	7,6	8,3	9,3	8,9	6,2	7,3	8,6	8,1

Fonte: Trichês (2014).

Há que ressaltar-se que algumas placas apresentam uma porcentagem do volume de vazios elevada, acima dos 7% normalmente esperado para um revestimento recém construído (grau de compactação inferior a 97%).

As placas da mistura asfalto-borracha e ligante convencional CAP 50/70 extraídas em campo apresentaram uma diferença percentual de afundamento de +1,41% e - 0,54%, respectivamente, em relação às placas moldadas em laboratório. Esta diferença pode ser consequência da elevada porcentagem do volume de vazios das placas extraídas em campo, em comparação das placas de laboratório, as quais apresentam estrito controle nesse quesito.

No entanto, ressalta-se a similar resposta à deformação permanente das misturas ensaiadas em laboratório e campo. Observou-se o pior desempenho da mistura com asfalto convencional CAP 50/70 em relação à mistura asfalto-borracha. Entretanto, como já comentado, devido ao fato de que o tráfego na rodovia SC-370 é baixo e ela está inserida em uma região de baixas temperaturas, é muito provável que não se venha a ter problemas de deformação permanente no segmento monitorado 3. O acompanhamento dos segmentos trará resposta a esta hipótese.

4.4.4 Caracterização reológica

A caracterização reológica das misturas foi realizada a partir da determinação do módulo complexo e o ângulo de fase para diferentes

temperaturas e frequências do carregamento. O ensaio foi conduzido a uma deformação controlada de 50 $\mu\text{m/m}$, conforme especificado pela norma EN 12697-26, atuando no domínio linear das pequenas deformações.

Os resultados do módulo complexo e ângulo de fase das misturas mencionadas encontram-se nos Quadros 4.36, 4.37 e 4.38.

As Figuras 4.43, 4.44 e 4.45 apresentam o plano complexo Cole-Cole da mistura asfalto-borracha e asfalto convencional CAP 50/70 dos segmentos de Urubici e da mistura asfalto-borracha do segmento de Itapoá, respectivamente. A representação do módulo complexo $|E^*|$ no plano Cole-Cole relaciona a parte real (E_1), no eixo das abscissas, em função da parte imaginária (E_2), no eixo das ordenadas. A curva é característica de cada mistura e nela pode-se perceber a evolução da parcela elástica e viscosa em função da temperatura de ensaio e da frequência do carregamento.

Quadro 4.36 – Resultado do ensaio de módulo complexo, mistura asfalto-borracha dos segmentos monitorados 1 e 2 de Urubici.

T(°C) ⁽ⁱ⁾	Módulo complexo	FREQUÊNCIA f (Hz)							
		0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	20
30	E* (MPa) ⁽ⁱⁱ⁾	390	435	656	910	1239	1843	2394	2989
	δ (°) ⁽ⁱⁱⁱ⁾	34,4	36,9	38,9	39,5	38,9	37,5	36,5	36,4
	W (KJ/m³) ^(vi)	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,01	0,013	0,015
	E1 (MPa) ^(v)	321,8	347,9	510,5	702,2	964,2	1462,2	1924,4	2405,8
	E2 (MPa) ^(vi)	220,3	261,2	411,9	578,8	778,0	1121,9	1424,0	1773,7
25	E* (MPa)	752	979	1396	1788	2265	3135	3977	4786
	δ (°)	35,2	36,2	36,3	35,8	34,4	32,3	30,3	28,8
	W (KJ/m³)	0,003	0,004	0,005	0,008	0,01	0,015	0,017	0,019
	E1 (MPa)	614,5	790,0	1125,1	1450,2	1868,9	2649,9	3433,7	4194,0
	E2 (MPa)	433,5	578,2	826,5	1045,9	1279,7	1675,2	2006,5	2305,7
20	E* (MPa)	1178	1527	2187	2858	3511	5096	6222	7310
	δ (°)	34,2	34,1	32,7	31,3	29,4	26,3	24,2	22,6
	W (KJ/m³)	0,004	0,006	0,008	0,011	0,014	0,019	0,021	0,022
	E1 (MPa)	974,3	1264,4	1840,4	2442,0	3058,8	4568,5	5675,2	6748,7
	E2 (MPa)	662,1	856,1	1181,5	1484,8	1723,6	2257,9	2550,5	2809,2
15	E* (MPa)	2179	2745	3612	4506	5448	6873	8141	9254
	δ (°)	31,4	30,3	27,9	26,0	23,7	21,1	19,1	17,5
	W (KJ/m³)	0,008	0,009	0,011	0,016	0,018	0,022	0,022	0,022
	E1 (MPa)	1859,9	2370,0	3192,2	4050,0	4988,5	6412,2	7692,8	8825,7
	E2 (MPa)	1135,3	1384,9	1690,2	1975,3	2189,8	2474,3	2663,9	2782,7
10	E* (MPa)	4083	4879	6105	7230	8297	9826	11212	12306
	δ (°)	25,0	23,3	20,9	18,9	17,0	15,4	13,6	12,4
	W (KJ/m³)	0,012	0,013	0,016	0,019	0,02	0,024	0,022	0,021
	E1 (MPa)	3700,5	4481,1	5703,3	6840,2	7934,5	9473,2	10897,6	12018,9
	E2 (MPa)	1725,6	1929,9	2177,9	2341,9	2425,8	2609,4	2636,4	2642,5
5	E* (MPa)	6832	7877	9297	10549	11749	13525	14864	15636
	δ (°)	18,8	16,9	15,1	13,3	12,1	10,5	9,0	8,1
	W (KJ/m³)	0,015	0,015	0,020	0,019	0,021	0,022	0,020	0,018
	E1 (MPa)	6467,5	7536,8	8976,0	10266,1	11488,0	13298,5	14681,0	15480,0
	E2 (MPa)	2201,7	2289,9	2421,9	2426,8	2462,8	2464,7	2325,2	2203,1
0	E* (MPa)	9876	11083	12628	13765	14944	17031	18268	18695
	δ (°)	13,6	12,3	10,7	9,3	8,5	7,4	6,1	5,1
	W (KJ/m³)	0,016	0,018	0,019	0,018	0,019	0,02	0,02	0,014
	E1 (MPa)	9599,1	10828,6	12408,4	13584,1	14779,9	16889,2	18164,6	18621,0
	E2 (MPa)	2322,3	2361,0	2344,6	2224,5	2208,9	2193,5	1941,2	1661,9

Observações referentes ao Quadro 4.36:

(i) T = Temperatura de ensaio; (ii) |E*| = norma do módulo complexo; (iii) δ = ângulo de fase;

(vi) W = energia dissipada no ciclo de carregamento; (v) E1 = módulo de armazenamento;

(vi) E2 = módulo de perda.

Fonte: Elaboração própria.

Quadro 4.37 – Resultado do ensaio de módulo complexo, mistura convencional CAP 50/70 do segmento monitorado 3 de Urubici.

T (°C)	Módulo complexo	FREQUÊNCIA f (Hz)							
		0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	20
30	E* (MPa)	190	333	478	748	1063	1729	2515	3344
	δ (°)	35,6	40,1	45,3	47,4	47,6	46,0	43,9	41,5
	W (KJ/m³)	0,001	0,001	0,002	0,003	0,006	0,011	0,015	0,019
	E1 (MPa)	154,5	254,7	336,2	506,3	716,8	1201,1	1812,2	2504,5
	E2 (MPa)	110,6	214,5	339,8	550,6	785,0	1243,7	1743,9	2215,8
25	E* (MPa)	561	762	1276	1858	2509	4021	5288	6731
	δ (°)	42,7	44,6	44,6	43,7	40,8	36,5	33,2	30,1
	W (KJ/m³)	0,002	0,003	0,006	0,011	0,013	0,020	0,023	0,026
	E1 (MPa)	412,3	542,6	908,5	1343,3	1899,3	3232,3	4424,8	5823,3
	E2 (MPa)	380,4	535,0	895,9	1283,7	1639,4	2391,8	2895,5	3375,7
20	E* (MPa)	1196	1640	2490	3418	4416	6807	8629	10304
	δ (°)	41,9	41,7	39,3	36,5	33,2	28,3	25,0	22,2
	W (KJ/m³)	0,005	0,007	0,010	0,016	0,020	0,028	0,029	0,030
	E1 (MPa)	890,2	1224,5	1926,9	2747,6	3695,2	5993,4	7820,5	9540,2
	E2 (MPa)	798,7	1091,0	1577,1	2033,1	2418,0	3227,1	3646,8	3893,3
15	E* (MPa)	2602	3485	4996	6285	7863	10731	12839	14121
	δ (°)	38,5	35,9	31,7	28,3	25,2	20,8	18,0	15,5
	W (KJ/m³)	0,011	0,014	0,019	0,024	0,028	0,032	0,032	0,029
	E1 (MPa)	2036,3	2823,0	4250,7	5533,8	7114,7	10031,6	12210,6	13607,4
	E2 (MPa)	1619,8	2043,5	2625,3	2979,6	3347,9	3810,7	3967,5	3773,7
10	E* (MPa)	5060	6322	8176	9744	11336	15662	17880	19019
	δ (°)	29,3	26,4	22,9	19,8	17,5	13,9	12,0	10,0
	W (KJ/m³)	0,017	0,020	0,028	0,026	0,029	0,032	0,030	0,025
	E1 (MPa)	4412,7	5662,7	7531,6	9167,9	10811,3	15203,4	17489,3	18730,1
	E2 (MPa)	2476,3	2811,0	3181,5	3300,7	3408,8	3762,5	3717,5	3302,6
5	E* (MPa)	8827	10461	12521	14172	15776	20236	21762	22895
	δ (°)	20,8	18,4	15,4	13,3	11,7	9,6	8,0	6,0
	W (KJ/m³)	0,022	0,023	0,027	0,026	0,028	0,030	0,025	0,018
	E1 (MPa)	8251,7	9926,2	12071,4	13791,9	15448,2	19952,6	21550,2	22769,6
	E2 (MPa)	3134,5	3302,0	3325,0	3260,3	3199,2	3374,7	3028,7	2393,2
0	E* (MPa)	14521	16067	18071	19581	21049	25650	27221	27609
	δ (°)	12,9	11,2	9,2	8,0	7,1	5,9	5,0	2,2
	W (KJ/m³)	0,020	0,021	0,023	0,023	0,024	0,024	0,02	0,008
	E1 (MPa)	14154,5	15761,0	17838,5	19390,4	20887,6	25514,1	27117,4	27588,6
	E2 (MPa)	3241,8	3120,8	2889,2	2725,1	2601,7	2636,6	2372,5	1059,8

Fonte: Elaboração própria.

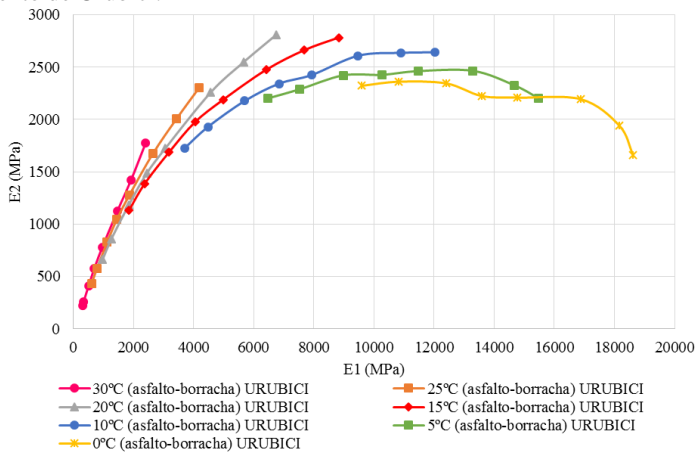
Quadro 4.38 – Resultado do ensaio de módulo complexo, mistura asfalto-borracha, do segmento monitorado de Itapoá.

T (°C)	Módulo complexo	FREQUÊNCIA f (Hz)							
		0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	20
30	E* (MPa)	193	250	346	518	701	944	1229	1624
	δ (°)	35,4	38,0	40,9	42,2	42,4	41,7	41,6	43,9
	W (KJ/m³)	0,001	0,002	0,002	0,003	0,005	0,009	0,011	0,013
	E1 (MPa)	157,3	197,0	261,5	383,7	517,7	704,8	919,0	1170,2
	E2 (MPa)	111,8	153,9	226,5	348,0	472,7	628,0	816,0	1126,1
25	E* (MPa)	457	565	756	997	1328	1882	2337	2891
	δ (°)	37,4	38,7	39,7	39,5	38,8	36,4	34,9	34,4
	W (KJ/m³)	0,002	0,003	0,005	0,008	0,009	0,012	0,015	0,016
	E1 (MPa)	363,0	440,9	581,7	769,3	1035,0	1514,8	1916,7	2385,4
	E2 (MPa)	277,6	353,3	482,9	634,2	832,1	1116,8	1337,1	1633,3
20	E* (MPa)	749	968	1329	1648	2131	2981	3612	4360
	δ (°)	36,8	37,2	36,6	35,6	33,9	31,0	29,0	27,5
	W (KJ/m³)	0,004	0,005	0,008	0,010	0,013	0,017	0,020	0,019
	E1 (MPa)	599,7	771,0	1066,9	1340,0	1768,8	2555,2	3159,1	3867,4
	E2 (MPa)	448,7	585,3	792,4	959,3	1188,6	1535,3	1751,1	2013,2
15	E* (MPa)	1263	1634	2308	2853	3456	4594	5413	6330
	δ (°)	34,3	33,5	31,8	30,0	27,9	24,9	22,8	21,2
	W (KJ/m³)	0,007	0,009	0,011	0,014	0,017	0,021	0,023	0,020
	E1 (MPa)	1043,4	1362,6	1961,6	2470,8	3054,3	4167,0	4990,0	5901,6
	E2 (MPa)	711,7	901,9	1216,2	1426,5	1617,2	1934,2	2097,6	2289,1
10	E* (MPa)	2394	2942	3909	4632	5453	6281	7297	8262
	δ (°)	29,4	27,8	25,3	23,3	21,3	20,0	17,9	15,5
	W (KJ/m³)	0,010	0,013	0,015	0,017	0,019	0,023	0,023	0,019
	E1 (MPa)	2085,7	2602,4	3534,1	4254,2	5080,5	5902,2	6943,8	7961,5
	E2 (MPa)	1175,2	1372,1	1670,5	1832,2	1980,8	2148,2	2242,8	2207,9
5	E* (MPa)	3887	4600	5774	6706	7598	9012	10130	11043
	δ (°)	25,0	23,1	20,4	18,2	16,4	14,2	12,5	10,4
	W (KJ/m³)	0,015	0,016	0,020	0,019	0,021	0,023	0,021	0,015
	E1 (MPa)	3522,8	4231,2	5411,9	6370,5	7288,9	8736,6	9889,9	10861,6
	E2 (MPa)	1642,7	1804,8	2012,7	2094,5	2145,2	2210,7	2192,5	1993,5
0	E* (MPa)	6337	7238	8534	9650	10618	11974	13057	14073
	δ (°)	18,4	16,5	14,5	12,6	11,3	9,7	8,4	6,4
	W (KJ/m³)	0,016	0,016	0,019	0,018	0,020	0,019	0,018	0,015
	E1 (MPa)	6013,0	6939,9	8262,2	9417,6	10412,2	11802,8	12916,9	13985,3
	E2 (MPa)	2000,3	2055,7	2136,7	2105,1	2080,6	2017,5	1907,4	1568,7

Fonte: Elaboração própria.

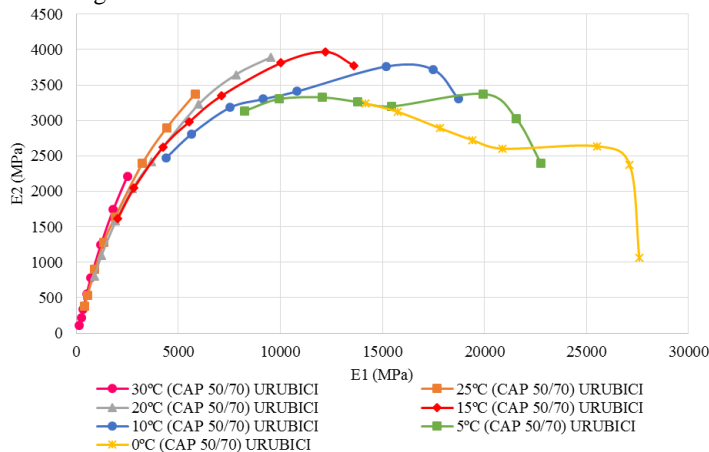
Para uma frequência de carregamento de 10Hz (velocidade de tráfego de 72km/h), observa-se que os valores máximos do módulo imaginário (E2), para as três misturas, ocorrem no intervalo de temperatura entre 10°C e 20°C, o que indica a situação mais crítica para a avaliação do comportamento à fadiga nessas temperaturas, em termos de energia dissipada.

Figura 4.43 – Plano complexo (Cole-Cole) da mistura com asfalto-borracha do segmento de Urubici.



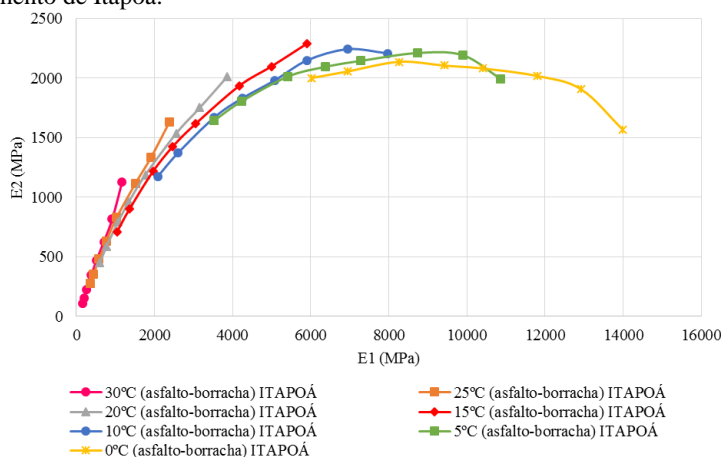
Fonte: Elaboração própria.

Figura 4.44 – Plano complexo (Cole-Cole) da mistura com asfalto convencional CAP 50/70 do segmento de Urubici.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 4.45 – Plano complexo (Cole-Cole) da mistura com asfalto-borracha do segmento de Itapoá.



Fonte: Elaboração própria.

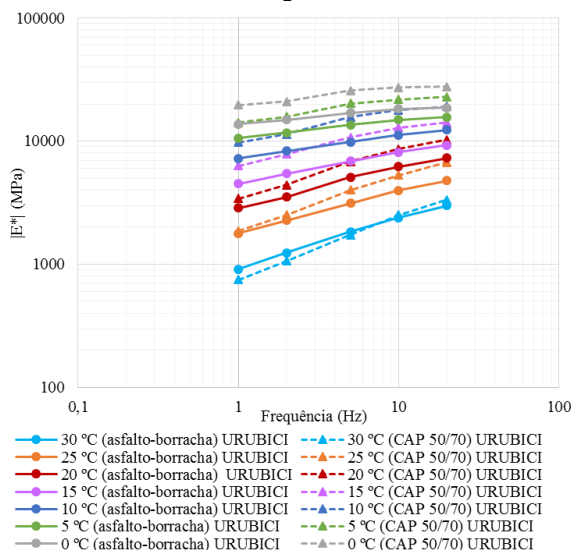
Nas Figuras 4.46 e 4.47 são apresentadas as curvas isotérmicas da mistura asfalto-borracha e asfalto convencional CAP 50/70 (segmentos monitorados de Urubici) e das misturas asfalto-borracha (segmentos monitorados de Itapoá e Urubici), respectivamente.

A curva isotérmica relaciona os valores da norma do módulo complexo, no eixo das ordenadas, em função da frequência de carregamento, no eixo das abcissas, ambos em função da temperatura de ensaio. O parâmetro de avaliação de uma mistura asfáltica, nesse caso, é a sua suscetibilidade cinética, ou seja, a variação do módulo complexo com a velocidade de solicitação do carregamento.

Na Figura 4.46 pode-se verificar a maior suscetibilidade cinética da mistura com asfalto convencional CAP 50/70 em relação à mistura asfalto-borracha. Quanto maior inclinação da curva, maior será a suscetibilidade cinética. Portanto, maior será o efeito do tempo de carregamento no comportamento reológico do material.

Verifica-se, também, que a mistura com asfalto convencional CAP 50/70 apresenta um maior módulo complexo (mistura mais rígida) em relação à mistura asfalto-borracha.

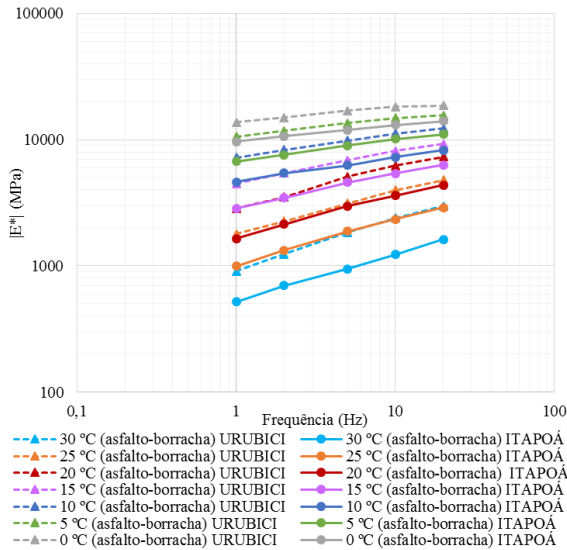
Figura 4.46 – Comparação das curvas isotérmicas da mistura asfalto-borracha e asfalto convencional CAP 50/70 dos segmentos de Urubici.



Fonte: Elaboração própria.

Conforme a Figura 4.47, observa-se que a mistura asfalto-borracha do segmento de Urubici se comporta quase que paralelamente à mistura asfalto-borracha do segmento de Itapoá, isto é, o tempo de aplicação do carregamento teria praticamente a mesma influência no comportamento reológico das duas misturas. No entanto, a mistura dos segmentos de Urubici apresenta um pequeno deslocamento vertical para acima da curva isotérmica em relação à do segmento de Itapoá, evidenciando um aumento do módulo complexo, ou seja, a mistura de Urubici é levemente mais rígida que a de Itapoá.

Figura 4.47 – Comparação das curvas isotérmicas da mistura asfalto-borracha dos segmentos de Urubici e Itapoá.



Nas Figuras 4.48 e 4.49, comparam-se as curvas de equivalência da mistura asfalto-borracha e asfalto convencional CAP 50/70 (segmentos monitorados de Urubici) e as misturas asfalto-borracha (segmentos monitorados de Itapoá e Urubici), respectivamente. As curvas mestras representadas foram determinadas a partir da translação horizontal das curvas isotérmicas até a temperatura de referência de 20°C. Para esse fim, foram calculados os fatores de translação horizontal das curvas isotérmicas para a temperatura de referência, através da equação de William-Landel-Ferry apresentada na Equação (2.11). As constantes C_1 e C_2 foram determinadas com o *software Viscoanalyse*, e estão apresentados no Quadro 4.39.

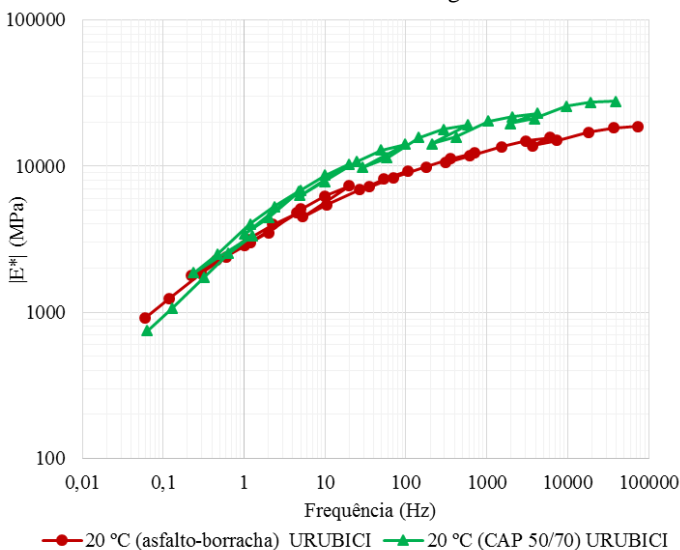
Quadro 4.39 – Constantes da equação de WLF das misturas dos segmentos monitorados de Urubici e Itapoá.

Parâmetro	Mistura asfáltica		
	URUBICI		ITAPOÁ
	Asfalto-borracha	Convencional CAP 50/70	Asfalto-borracha
C1	-11,7618	-13,1321	-13,4891
C2	86,0017	99,8868	110,5894

Fonte: Elaboração própria.

A curva de equivalência caracteriza a viscoelasticidade das misturas de concreto asfáltico e permite obter os valores de módulo para as frequências inacessíveis experimentalmente, ou seja, valores muito baixos ($< 0,1$ Hz) ou muito altos (> 100 Hz), em uma dada temperatura.

Figura 4.48 – Comparação das curvas de equivalência da mistura asfalto-borracha e asfalto convencional CAP 50/70 dos segmentos de Urubici.

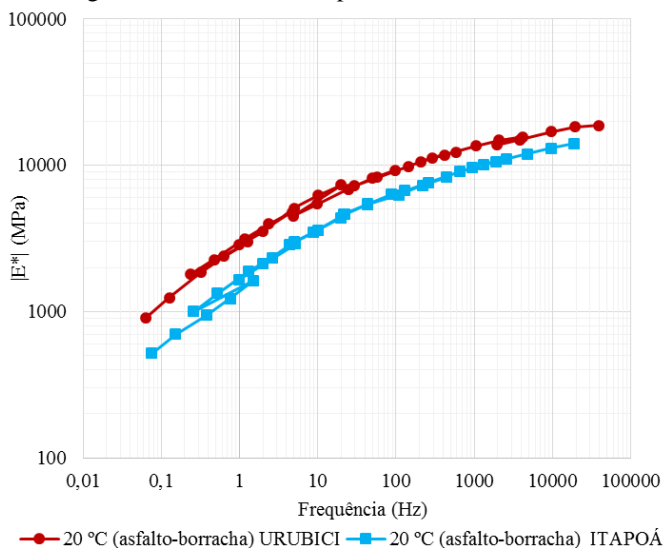


Fonte: Elaboração própria.

A partir da Figura 4.48, observa-se a maior rigidez da mistura com asfalto convencional CAP 50/70, em relação à mistura asfalto-borracha, para o domínio de frequências acima de 1 Hz. Nestas curvas, pode-se evidenciar uma tendência de maiores ganhos na rigidez desta mistura com o aumento da frequência de carregamento.

Em princípio, o aumento da velocidade do tráfego aumentaria o módulo complexo da mistura e propiciaria na estrutura do pavimento uma menor deformação de tração na fibra inferior da camada de revestimento asfáltico, sob um mesmo estado de tensões, aumentando a sua vida útil.

Figura 4.49 – Comparação das curvas de equivalência da mistura asfalto-borracha dos segmentos de Urubici e Itapoá.

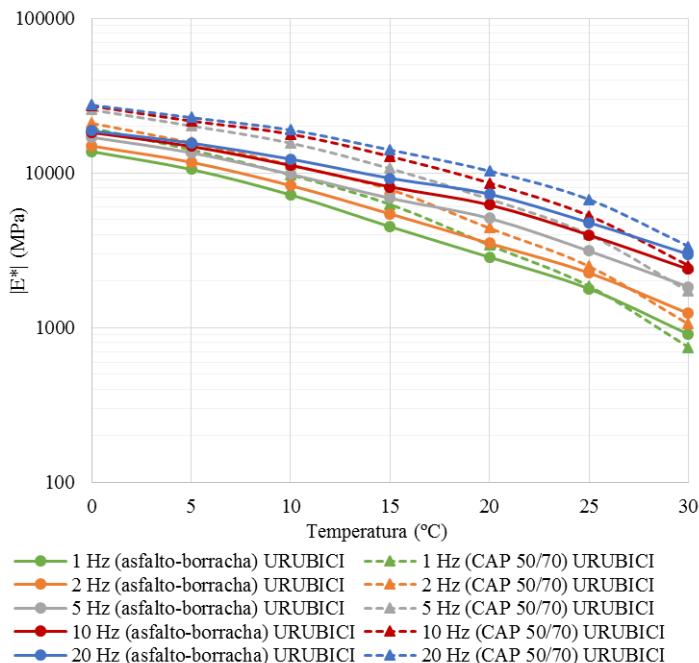


Fonte: Elaboração própria.

Analisando-se a Figura 4.49, verifica-se que as curvas mestras da mistura asfalto-borracha dos segmentos de Urubici e Itapoá, evoluem quase que paralelamente. Evidencia-se uma diferença na rigidez destas misturas, sendo que a mistura do segmento de Urubici apresenta, em média, uma rigidez 37% maior que a mistura do segmento de Itapoá.

As curvas isócronas, mostradas nas Figuras 4.50 e 4.51, relacionam a norma do módulo complexo para cada nível de frequência em função da temperatura, em escala logarítmica. Com o aumento da temperatura, percebe-se o aumento da dispersão da curva. Quanto à frequência de sollicitação, observa-se que quanto maior a frequência de carregamento maior é a norma do módulo complexo.

Figura 4.50 – Comparação das curvas isócronas da mistura com asfalto-borracha e asfalto convencional CAP 50/70 dos segmentos de Urubici.

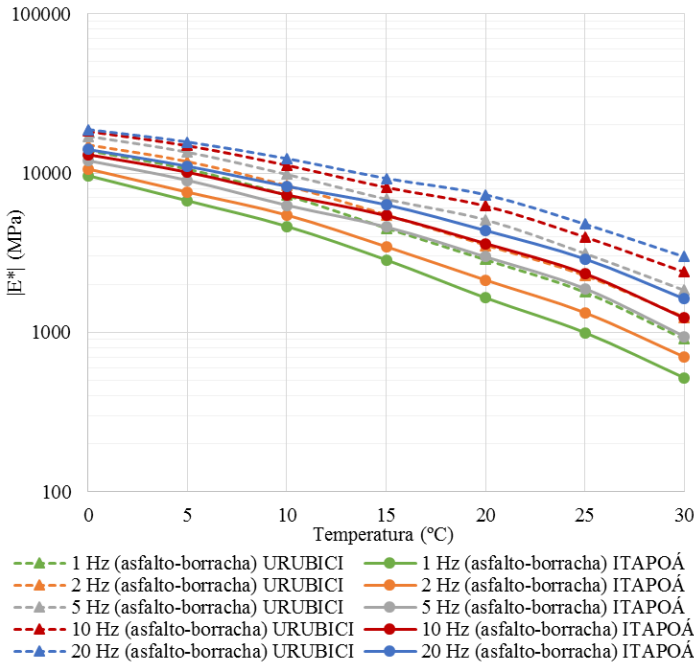


Fonte: Elaboração própria.

Na Figura 4.50, observa-se que a mistura convencional CAP 50/70 apresenta maiores valores do módulo complexo, em relação à mistura asfalto-borracha. No entanto, a mistura convencional apresenta maior susceptibilidade térmica. Por exemplo, na curva isócrona de 10Hz, a redução no módulo complexo na mistura com asfalto convencional foi de 70,42%, enquanto que para a mistura asfalto-borracha ela foi de 64,52%, para o aumento de temperatura de 10°C para 25°C.

Em relação as curvas isócronas expostas na Figura 4.51, observa-se que estas se desenvolvem quase que paralelamente, apresentando a mistura asfalto-borracha do segmento de Urubici, um maior módulo complexo que a mistura do segmento de Itapoá.

Figura 4.51 – Comparação das curvas isócronas da mistura asfalto-borracha dos segmentos de Urubici e Itapoá.

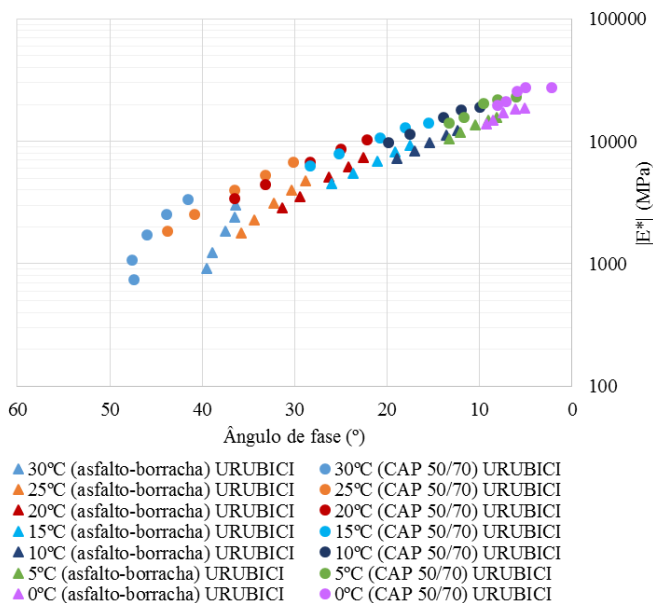


Fonte: Elaboração própria.

Nas Figuras 4.52 e 4.53 são comparados o espaço de Black da mistura asfalto-borracha e de asfalto convencional CAP 50/70 (segmentos monitorados de Urubici) e as misturas asfalto-borracha (segmentos monitorados de Itapoá e Urubici), respectivamente.

A representação do módulo complexo na curva no espaço de Black é obtida pela norma do módulo complexo, no eixo das ordenadas, e em escala logarítmica, em função do ângulo de fase, no eixo das abscissas também em escala aritmética. A curva do espaço de Black permite visualizar a região dos módulos de valores pequenos e, em particular, o aumento do ângulo de fase para as condições de temperatura elevada.

Figura 4.52 – Comparação do espaço de Black da mistura com asfalto-borracha e asfalto convencional CAP 50/70 dos segmentos de Urubici.

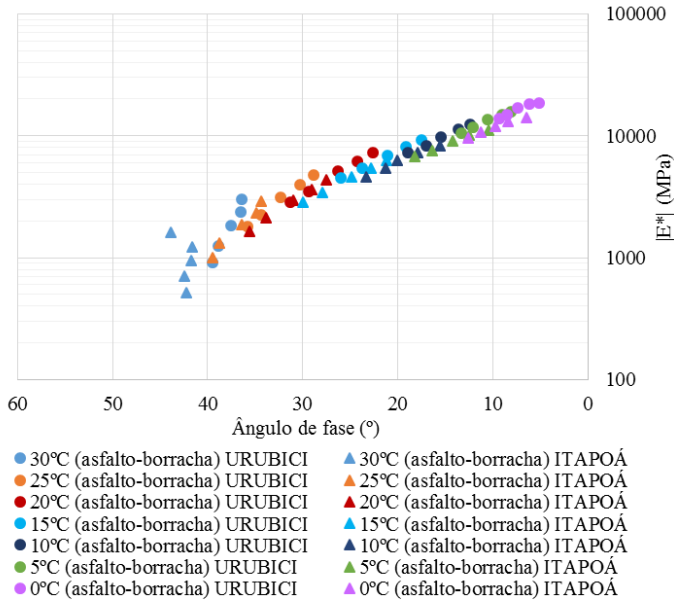


Fonte: Elaboração própria.

Observa-se na Figura 4.52 o encurtamento do espaço Black da mistura asfalto-borracha em relação à mistura convencional CAP 50/70, ambos do segmento de Urubici. Esta situação é resultado da redução do ângulo de fase deste tipo de mistura.

Na Figura 4.53 apresenta-se a comparação do espaço Black da mistura asfalto-borracha dos segmentos monitorados de Urubici e Itapoá. O ligeiro encurtamento da mistura asfalto-borracha do segmento de Urubici, denota o pequeno ganho de elasticidade nesta mistura em relação à mistura do segmento de Itapoá.

Figura 4.53 – Comparação do espaço de Black da mistura asfalto-borracha dos segmentos de Urubici e Itapoá.



Fonte: Elaboração própria.

4.4.5 Comportamento à fadiga das misturas

O ensaio de fadiga, foi realizado a uma frequência de 10Hz (equivalente a uma velocidade de tráfego de 72km/h) e temperatura de ensaio de 20°C. O modo de carregamento foi o sinusoidal contínuo e em deformação controlada. Definiu-se como critério de finalização do ensaio a redução da rigidez em 50% em relação ao módulo inicial, o qual foi determinado no centésimo ciclo de carregamento.

4.4.5.1 Corpos de prova das placas moldadas em laboratório

Os Quadros 4.40, 4.41 e 4.42 apresentam os resultados do ensaio de fadiga da mistura asfalto-borracha e da mistura convencional CAP 50/70 (segmentos monitorados de Urubici) e da mistura asfalto-borracha (segmento monitorado de Itapoá), respectivamente. Os quadros mencionados expõem, para cada corpo de prova ensaiado, o módulo complexo inicial (determinado no centésimo ciclo), a porcentagem do

volume de vazios, o ângulo de fase, a deformação específica inicial e número de ciclos relativo à 50% do módulo complexo inicial.

Quadro 4.40 – Resultado do ensaio de fadiga da mistura asfalto-borracha dos segmentos monitorados 1 e 2 de Urubici.

Corpo de prova	Módulo inicial (MPa)	Vv (%)	Ângulo de fase (ϕ)	Deformação específica inicial ϵ_t ($\times 10^{-6}$)	Número de solicitações
UB_01	4748	4,28	37	260	816534
UB_13	4490	4,46	37	260	732912
UB_07	4557	3,61	37	309	312000
UB_12	4433	4,54	36	314	369551
UB_02	4266	4,93	38	315	124999
UB_09	4375	4,14	39	365	85072
UB_05	4494	4,33	38	365	94434
UB_08	4351	4,46	37	365	191203
UB_14	4131	3,95	40	415	64501
UB_15	4095	3,88	40	418	47463

Fonte: Elaboração própria.

Quadro 4.41 – Resultado do ensaio de fadiga da mistura convencional CAP 50/70 do segmento monitorado 3 de Urubici.

Corpo de prova	Módulo inicial (MPa)	Vv (%)	Ângulo de fase (ϕ)	Deformação específica inicial ϵ_t ($\times 10^{-6}$)	Número de solicitações
UC_07	7732	3,64	31	176	389555
UC_06	7216	3,38	31	176	380147
UC_03	6781	3,60	34	205	156113
UC_02	7920	2,93	31	206	147287
UC_05	7804	2,96	32	255	51312
UC_04	7867	2,73	32	258	64594
UC_12	7958	3,12	32	257	55372
UC_15	6349	3,18	37	307	32720
UC_01	7370	3,04	34	307	30346
UC_13	7079	2,85	35	308	35191

Fonte: Elaboração própria.

Quadro 4.42 – Resultado do ensaio de fadiga da mistura asfalto-borracha do segmento monitorado de Itapoá.

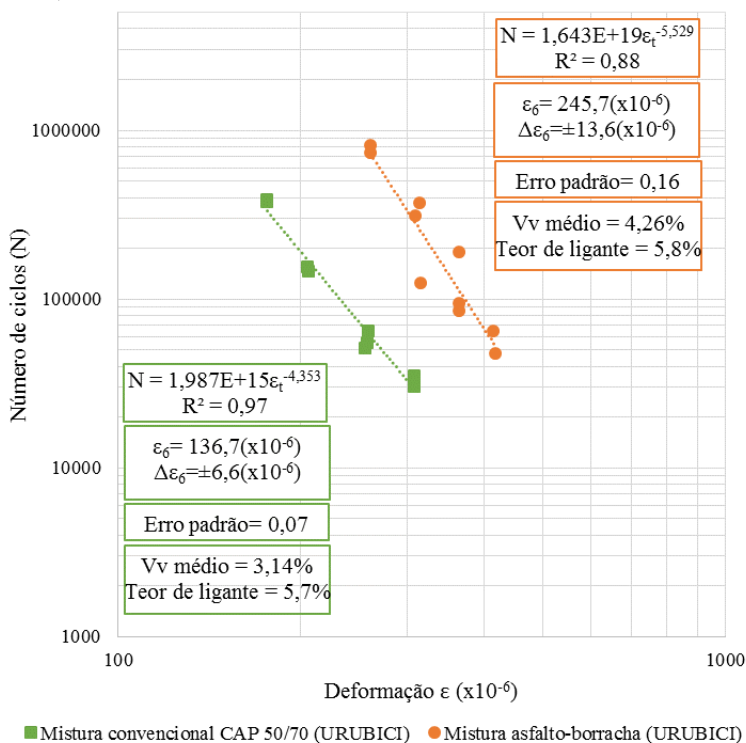
Corpo de prova	Módulo inicial (MPa)	Vv (%)	Ângulo de fase (ϕ)	Deformação específica inicial ϵ_t ($\times 10^{-6}$)	Número de solicitações
IB_24	3954	4,36	32	208	1787890
IB_11	2663	6,05	37	231	440302
IB_16	3968	6,21	31	235	587950
IB_22	3745	3,95	33	260	146097
IB_17	3778	3,85	33	261	148228
IB_20	4991	3,71	31	280	79013
IB_03	3869	4,09	32	281	145133
IB_15	3496	4,08	34	311	128509
IB_23	3705	3,84	33	344	23456
IB_02	2441	4,32	40	346	17365
IB_01	2457	3,68	40	365	17634
IB_04	3334	3,71	36	416	12074

Fonte: Elaboração própria.

Os resultados dos ensaios de fadiga foram modelados segundo Equação (2.16). Nas Figuras 4.54 e 4.55 são apresentadas as curvas de fadiga da mistura asfalto-borracha e mistura com asfalto convencional CAP 50/70 (segmentos monitorados de Urubici) e as misturas asfalto-borracha (segmento monitorado de Urubici e Itapoá), respectivamente.

Para todos os modelos são apresentados o coeficiente de correlação (R^2), a deformação para um milhão de ciclos (ϵ_c), o intervalo de confiança de 95% ($\alpha=0,05$) sobre a deformação relativa a um milhão de ciclos ($\Delta\epsilon_c$), o erro padrão, o volume médio dos vazios e o teor de ligante.

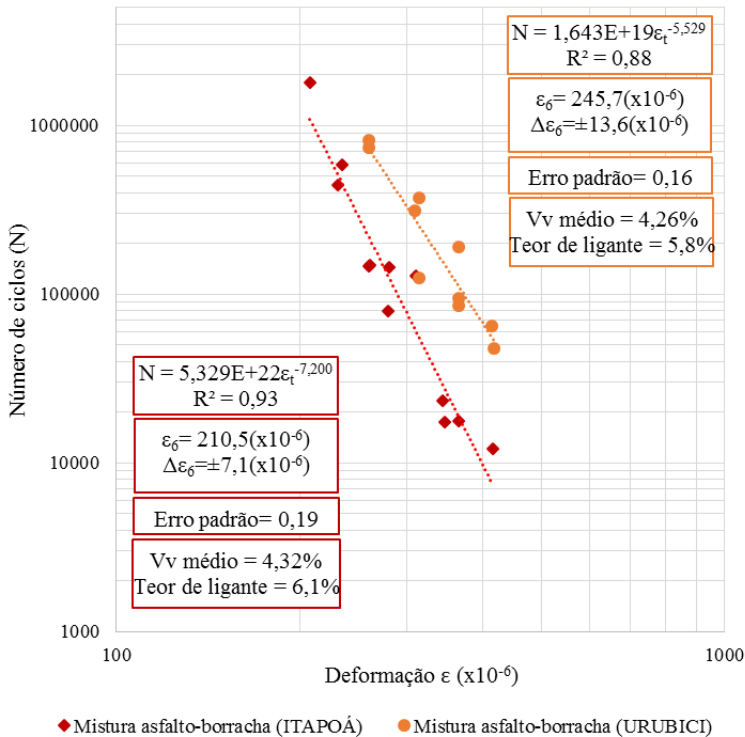
Figura 4.54 – Curva de fadiga da mistura com asfalto convencional CAP 50/70 e asfalto-borracha dos segmentos de Urubici (temperatura de 20°C e frequência de 10Hz).



Fonte: Elaboração própria.

Na Figura 4.54 observa-se que para uma mesma deformação (por exemplo 300 $\mu\text{m/m}$) a mistura asfalto-borracha suportaria, aproximadamente, 10 vezes mais o número de aplicações de carregamento, quando comparada com a mistura convencional CAP 50/70. Logicamente todavia a forma mais apropriada para se avaliar a diferença de comportamento é em uma estrutura de pavimento.

Figura 4.55 – Curva de fadiga da mistura da mistura asfalto-borracha dos segmentos de Urubici e Itapoá (temperatura de 20°C e frequência de 10Hz).



Fonte: Elaboração própria.

A mistura asfalto-borracha dos segmentos de Urubici apresenta um melhor desempenho à fadiga em relação à mistura asfalto-borracha do segmento de Itapoá. Esta situação pode ser verificada, por exemplo, comparando a deformação para um milhão de ciclos (ϵ_6) de ambas misturas.

O resumo dos coeficientes das curvas de fadiga das misturas empregadas nos segmentos monitorados em estudo estão apresentados no Quadro 4.43.

Quadro 4.43 – Resumo dos valores dos modelos de fadiga ($N = a \times \epsilon_t^b$) obtidos para as misturas asfálticas dos segmentos em estudo.

Parâmetro	Mistura asfáltica		
	URUBICI		ITAPOÁ
	Asfalto-borracha	Convencional CAP 50/70	Asfalto-borracha
a	1,643E+19	1,987E+15	5,329E+22
b	-5,529	-4,353	-7,200
R ²	0,88	0,97	0,93

Observações referentes ao Quadro 4.43:

(i) Intervalo de confiança de 95% ($\alpha=0,05$) sobre a deformação relativa de 1.000.000 de ciclos.

Fonte: Elaboração própria.

Dos coeficientes apresentados no Quadro 4.43, vale ressaltar a importância do coeficiente (b), que está relacionado com a inclinação da curva de fadiga, indicando a suscetibilidade da mistura ao número de solicitações de carregamento.

Constata-se que os modelos estatísticos das equações de fadiga, apresentam uma alta correlação entre as variáveis, assim como um pequeno erro padrão.

4.4.5.2 Corpos de prova das placas extraídas em campo

Na etapa de execução dos segmentos monitorados de Urubici foram extraídas placas do revestimento da mistura asfalto-borracha e mistura convencional CAP 50/70 para a realização de ensaios de fadiga. Posteriormente as placas foram serradas para a obtenção dos corpos de prova prismáticos de 5,0x6,0x40,0cm, tal como é ilustrado na Figura 4.56.

Figura 4.56 – Corpos de prova serrados para o ensaio de fadiga.



Fonte: Trichês (2014).

Devido a pequenas fissuras decorrentes das dificuldades inerentes da extração de placas do revestimento e ao seu manuseio, de todas as 16

placas extraídas foram obtidos somente 29 corpos de prova, sendo 20 da mistura asfalto-borracha e 9 da mistura convencional CAP 50/70. Porém, o ensaio de fadiga somente foi realizado para a mistura asfalto-borracha, dado que os corpos de prova da mistura convencional CAP 50/70, não se prestaram para a realização dos ensaios de fadiga por apresentarem microfissuras decorrentes da extração das placas em campo.

Em relação ao segmento monitorado de Itapoá, devido à urgência de término da obra, não foi possível a extração de placas do revestimento asfáltico.

A realização dos ensaios de fadiga com os dos corpos de prova extraídos em campo, seguiu o mesmo procedimento aplicado para as placas moldadas em laboratório. O objetivo foi de caracterizar o comportamento das misturas compactadas em campo, retratando o processo industrial. O Quadro 4.44 apresenta os resultados obtidos para a mistura asfalto-borracha dos segmentos monitorados de Urubici.

Quadro 4.44 – Resultados da caracterização do comportamento à fadiga de mistura asfalto-borracha dos segmentos monitorados 1 e 2 Urubici.

Corpo de prova	Módulo inicial (MPa)	V _v (%)	Ângulo de fase (ϕ)	Deformação específica inicial ϵ_t ($\times 10^{-6}$)	Número de solicitações
UBC_25	4814	6,3	23	150	1241000
UBC_20	3753	7,0	26	150	485671
UBC_03	4458	6,0	23	150	982883
UBC_12	5371	6,6	20	200	66965
UBC_08	7444	5,8	21	200	71567
UBC_07	4705	6,9	22	200	43440
UBC_21	6547	6,3	21	300	10793
UBC_5	3747	5,8	25	300	17310
UBC_01	6619	6,0	21	300	9503

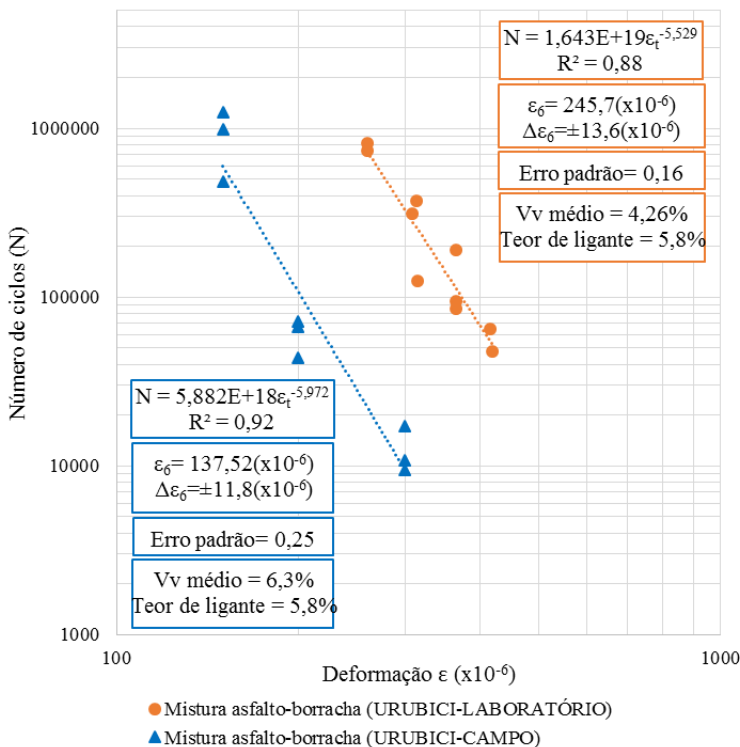
Fonte: Trichês (2014).

Observa-se, no Quadro 4.44, que existe uma grande variação no módulo complexo dos corpos de prova. Esta variabilidade já era esperada, pois em laboratório os corpos de prova são serrados a partir das placas moldadas com controle de muitas variáveis, portanto mais homogêneas. Em campo se tem a variação no grau de compactação da mistura ao longo dos segmentos monitorados e isto se reflete nas placas extraídas e os corpos de prova. Além disso, os valores do módulo complexo dos corpos de prova das placas extraídas são menores do que aqueles dos corpos de prova de placas moldadas em laboratório. Provavelmente isto está associado a maior porcentagem de volume de vazios dos corpos de prova

de campo. Isto ocorre porque a especificação de controle aceita um grau de compactação de até 97% e em laboratório as placas são moldadas para se atingir uma porcentagem de vazios de 4%.

A Figura 4.57 apresenta a curva de fadiga da mistura com ligante asfalto-borracha dos segmentos monitorados 1 e 2 de Urubici.

Figura 4.57 – Comparação das curvas de fadiga de campo e laboratório da mistura asfalto-borracha dos segmentos monitorados 1 e 2 Urubici.



Fonte: Elaboração própria.

Observa-se que há uma grande diferença de comportamento entre as curvas de fadiga, evidenciando que a mistura de campo teria uma vida útil de cerca de 30 vezes menor do que aquela que seria prevista pela curva da mistura de laboratório.

O resumo comparativo dos coeficientes da regressão estatística, utilizados no cálculo das curvas de fadiga de campo e laboratório da

mistura asfalto-borracha dos segmentos monitorados de Urubici estão apresentados no Quadro 4.45.

Quadro 4.45 – Resumo dos valores dos modelos de fadiga ($N = a \times \epsilon_t^b$) de campo e laboratório obtidos para a mistura asfalto-borracha dos segmentos monitorados de Urubici.

Parâmetro	Mistura asfáltica	
	Asfalto-borracha campo	Asfalto-borracha laboratório
a	5,882E+18	1,643E+19
b	-5,972	-5,529
R ²	0,92	0,88

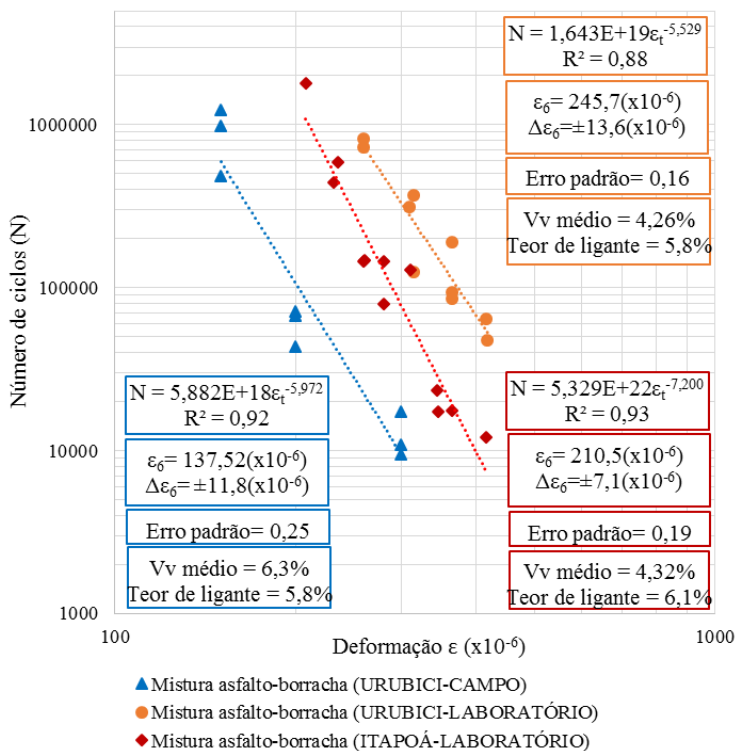
Fonte: Elaboração própria.

O melhor comportamento da mistura elaborada em laboratório, pode ser consequência do porcentagem do volume de vazios mais homogêneo dos corpos de prova e próximo do valor recomendado de 4% (as placas apresentaram um volume médio de 4,26%, com desvio padrão de 0,39%), em relação ao porcentagem do volume de vazios das placas extraídas em campo (volume médio de vazios de 6,3% com desvio padrão de 0,45%).

A Figura 4.58 mostra a comparação entre as curvas de fadiga de campo e laboratório dos segmentos de Urubici e a curva de fadiga de laboratório do segmento de Itapoá, sendo todas elas elaboradas com mistura asfalto-borracha.

Observa-se que para níveis de deformação baixos, a mistura asfalto-borracha do segmento de Urubici e Itapoá apresentariam a mesma resistência a fadiga. Neste sentido, poder-se-ia inferir que a mistura de campo do segmento de Itapoá apresentaria uma queda similar à curva de campo do segmento de Urubici.

Figura 4.58 – Comparação das curvas de fadiga de campo e laboratório das misturas asfalto-borracha do segmento de Urubici e Itapoá.



Fonte: Elaboração própria.

Observando-se a Figura 4.58 é de se esperar que para pequenas deformações de tração na fibra inferior do revestimento, a mistura de Itapoá tenderá a apresentar um melhor comportamento à fadiga que a mistura de Urubici.

4.5 ANÁLISE E MODELAÇÃO DO DESEMPENHO DO PAVIMENTO DOS SEGMENTOS MONITORADOS

4.5.1 Contagem do tráfego

4.5.1.1 Contagem do tráfego dos segmentos de Urubici

Em conformidade ao determinado no Manual de Execução de Trechos Monitorados (REDE, 2010), efetuou-se a contagem de tráfego com caráter quantitativo e classificatório dos veículos que trafegam pelos segmentos monitorados. Nos segmentos monitorados de Urubici, a contagem de tráfego foi realizada em fevereiro de 2016, durante três dias consecutivos, das 7:00 às 21:00 horas. Os resultados da contagem de tráfego encontram-se no Anexo A.1.

Para representar a quantidade do tráfego noturno dos segmentos monitorados, considerou-se que esta representa, aproximadamente, 4% dos veículos que solicitam a via no período diurno, conforme o estudo realizado por Santos (2015) que avaliou a influência da contagem noturna em três trechos monitorados na região de Santa Maria - no estado de Rio Grande do Sul.

A partir dos dados obtidos nesta contagem, obteve-se o valor de Volume Médio Diário Anual (VMDA) e atualizou-se o número $N_{8,2tf}$, para proporcionar o ajuste dos modelos de previsão de desempenho propostos na literatura.

Para a estimativa do número $N_{8,2tf}$, utilizou-se as taxas de crescimento indicadas pelo Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas de Santa Catarina (SEBRAE, 2010) e os fatores de veículo do estudo de tráfego do projeto de implantação, realizado pela PROSUL (2001), conforme apresentado no Quadro 4.46.

Quadro 4.46 – Fator de equivalência de Veículo (Fvi) - Urubici.

Veículo	Taxas	Fator de veículo USACE	Fator de veículo AASHTO
Automóveis	6,30	0,000	0,000
Ônibus	7,03	0,790	0,670
Caminhões simples	1,94	1,149	0,578
Caminhões duplos	1,94	4,767	0,837
Reboque/Semi-reboque	4,13	12,078	3,388

Fonte: Adaptado de SEBRAE (2010) e PROSUL (2001).

O Quadro 4.47 apresenta o número $N_{8,2tf}$ atualizado segundo a contagem de tráfego efetuada no ano 2016. Deste modo o tráfego previsto para o período de projeto é de $N_{USACE} = 1,77 \times 10^6$.

Quadro 4.47 – Crescimento do $N_{8,2tf}$ atualizado a partir da contagem de tráfego no ano 2016 - segmentos monitorados de Urubici.

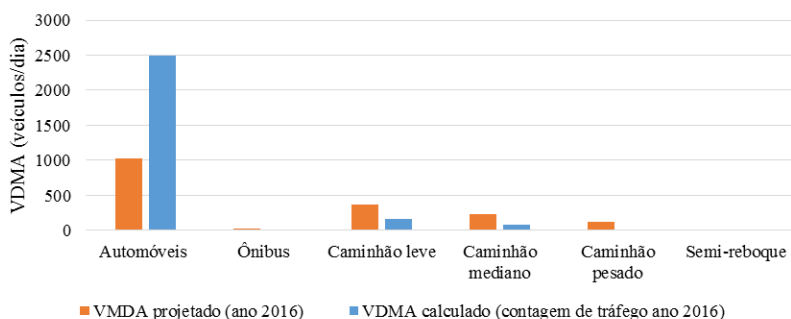
Ano	Número "N"	
	Anual	Acumulado
2012	1,96E+05	1,96E+05
2013	2,05E+05	4,02E+05
2014	2,15E+05	6,17E+05
2015	2,25E+05	8,41E+05
2016	1,37E+05	9,78E+05
2017	1,50E+05	1,13E+06
2018	1,55E+05	1,28E+06
2019	1,59E+05	1,44E+06
2020	1,64E+05	1,61E+06
2021	1,66E+05	1,77E+06

Fonte: Elaboração própria.

A partir da contagem de tráfego realizada em 2016, observa-se que o $N_{8,2tf}$ atualizado para o período de projeto apresentou uma diminuição de 26,86% em relação ao tráfego projetado no ano 2012 (seção 4.1.1.4).

A Figura 4.59 apresenta a comparação dos valores médios do VMDA projetado (na implantação dos segmentos) e do VMDA calculado a partir da contagem de tráfego, ambos para o ano 2016.

Figura 4.59 – Comparação da distribuição do VMDA projetado e do VMDA calculado para o ano 2016 - segmentos monitorados de Urubici.



Fonte: Elaboração própria.

Observa-se que a composição do tráfego em 2016 apresentou, em média, 141,3% de veículos de passeio a mais que os veículos projetados na implantação da obra. Isto pode estar relacionado ao fato que a pavimentação do trecho permitiu uma facilidade de acesso ao Moro da Igreja (ponto mais frio do Brasil), incrementando o turismo na região.

No entanto, os caminhões leves e pesados diminuíram, respectivamente, de 55,1% e 65,5% em relação ao valor estimado no início da obra. Considerando que as características do tráfego dependem da variação sazonal e da atividade econômica desenvolvida na região, é possível que a diminuição do $N_{8,2tf}$ esteja relacionado com a redução da produção de hortaliças e frutas, com especial ênfase na safra de maçã. Segundo os dados da revista Hortifruti e Cepea (2016), estima-se que a produção de maçã apresentou uma queda superior a 15% em decorrência dos efeitos do *El Niño*. Outro fator responsável pelo menor tráfego atual é que para o ano 2016, já deveria estar pronto a restante da pavimentação desta rodovia. Como as obras foram paralisadas ainda em 2012, o tráfego que se previa com a pavimentação não aconteceu. Portanto, a interação destas situações poderiam ter influenciado na diminuição dos veículos de carga predominante (caminhão leve/pesado e reboque/semi-reboque).

4.5.1.2 Contagem do tráfego do segmento de Itapoá

No segmento monitorado de Itapoá, a contagem de tráfego foi realizada em janeiro de 2016, durante três dias consecutivos, das 7:00 às 21:00 horas. Os resultados da contagem de tráfego encontram-se no Anexo B.1.

Para o tráfego noturno, considerou-se a parcela de 4% do tráfego diurno, baseado no estudo realizado por Santos (2015).

A partir dos dados obtidos nesta contagem, obteve-se o valor de Volume Médio Diário Anual (VMDA) e atualizou-se o número $N_{8,2tf}$, para proporcionar o ajuste dos modelos de previsão de desempenho propostos na literatura.

Para a estimativa do número $N_{8,2tf}$, foi adotado as taxas de crescimento baseado indicadas pelo SEBRAE (2010a) e os fatores de veículo do estudo de tráfego do projeto de implantação realizado pela SOTEPa (2001), conforme exposto no Quadro 4.48.

Quadro 4.48 – Fator de equivalência de Veículo (Fvi) - Itapoá.

Veículo	Taxas	Fator de veículo USACE	Fator de veículo AASHTO
Automóveis	6,17	0,000	0,000
Ônibus	2,88	0,790	0,670
Caminhões simples	10,04	1,149	0,578
Caminhões duplos	10,04	4,767	0,837
Reboque/Semi-reboque	13,47	12,078	3,388

Fonte: Adaptado de SEBRAE (2010) e SOTEPA (2001).

O Quadro 4.49 apresenta o número $N_{8,2tf}$ atualizado segundo a contagem de tráfego efetuada no ano 2016. Deste modo, o tráfego previsto para o período de projeto passaria a ser de $N_{USACE} = 3,90 \times 10^7$, ao invés de $1,16 \times 10^7$ como previsto em projeto.

Quadro 4.49 – Crescimento do $N_{8,2tf}$ atualizado a partir da contagem de tráfego no ano 2016 – segmento monitorado Itapoá.

Ano	Número "N"	
	Anual	Acumulado
2012	8,68E+05	8,68E+05
2013	9,34E+05	1,80E+06
2014	9,92E+05	2,79E+06
2015	1,05E+06	3,84E+06
2016	3,00E+06	6,85E+06
2017	4,94E+06	1,18E+07
2018	5,59E+06	1,74E+07
2019	6,33E+06	2,37E+07
2020	7,17E+06	3,09E+07
2021	8,13E+06	3,90E+07

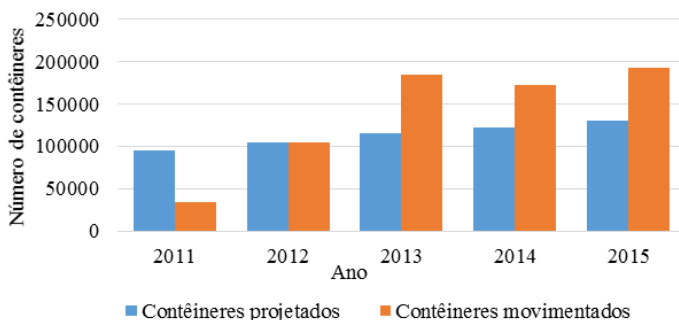
Fonte: Elaboração própria.

A partir da contagem de tráfego realizado o ano 2016, observa-se que o $N_{8,2tf}$ atualizado para o período de projeto representa 2,36 vezes o tráfego projetado no ano 2012 (seção 4.1.2.4).

O aumento de tráfego registrado neste segmento está relacionado com as operações desenvolvidas no Porto de Itapoá, dado que a rodovia SC-416 é a principal via pavimentada para o ingresso no terminal portuário. Conforme o relatório do Porto de Itapoá (2016), as operações apresentaram um crescimento acentuado a partir do ano 2012, registrando um aumento de 14,50% no volume de cargas em 2015. Do total de contêineres movimentados no porto, segundo a reportagem do Diário de Itapoá (ITAPOÁ, 2015), aproximadamente 60% deles são deslocados pelo

segmento em estudo. A Figura 4.60 apresenta a comparação do tráfego de contêineres projetados na implantação da rodovia, conforme o estudo realizado pela SOTEPa (2001), e os contêineres movimentados atualmente, desde a abertura do porto, em junho de 2011. Observe-se que a partir de ano 2013 os contêineres deslocados pela via ultrapassaram em mais de 30% o número de contêineres projetados. Este acréscimo viu-se refletido no $N_{8,2lf}$ previsto para o período de projeto atual.

Figura 4.60 – Comparação do tráfego de contêineres projetado na implantação e os movimentados atualmente, no segmento monitorado de Itapoá.



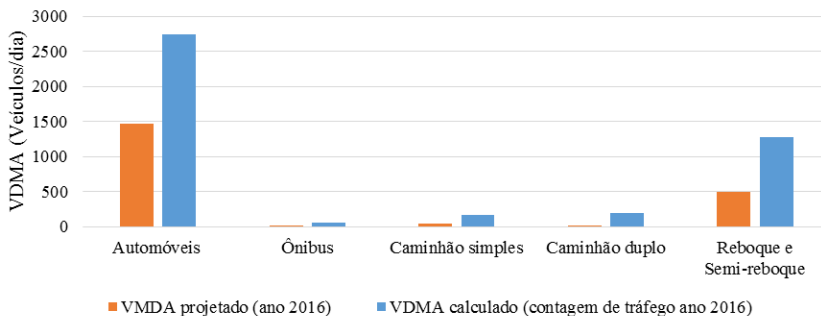
Fonte: Elaboração própria.

Por outro lado, ressalta-se em que pese a retração do PIB brasileiro em 2015 e 2016, o setor de agronegócio (exportação de carnes) tem apresentado neste período uma forte expansão em Santa Catarina, conforme ao informe da Associação Catarinense de Empresas de Tecnologia (ACATE, 2015).

A Figura 4.61 apresenta a comparação dos valores médios do VMDA projetado (na implantação dos segmentos) e do VMDA calculado a partir da contagem de tráfego, ambos para o ano 2016.

Observa-se que a composição do tráfego para o ano 2016 apresentou um aumento de 86,6% de veículos de passeio, 334,2% de caminhões leves e 156,2% de reboques e semi-reboque, em relação ao valor inicial projetado na implantação da via. Desta forma, o crescimento do tráfego para o período de projeto será alcançado durante o ano de 2017, cerca de 5 anos após a abertura ao tráfego.

Figura 4.61 – Comparação da distribuição do VMDA projetado e do VMDA calculado para o ano 2016 - segmento de Itapoá.



Fonte: Elaboração própria.

4.5.2 Análise e modelação do desempenho do pavimento dos segmentos monitorados de Urubici

4.5.2.1 Análise funcional

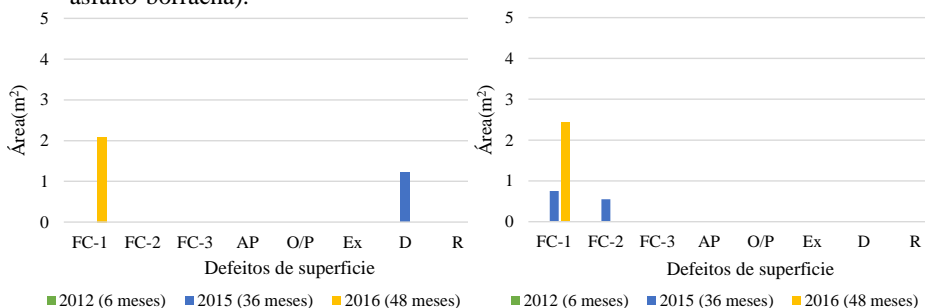
a) Análise da evolução dos defeitos superficiais

A análise da evolução de defeitos superficiais foi realizada a partir das informações obtidas nos levantamentos do estado da superfície, efetuado em 2012 (6 meses), 2015 (36 meses) e 2016 (48 meses). Os resultados destes levantamentos encontram-se no Anexo A.2.1.

Para a análise da evolução dos defeitos superficiais, determinou-se a área (em m²) atingida de cada um dos defeitos registrados nas faixas de rolamento.

A Figura 4.62 apresenta a evolução dos defeitos, que no ano 2012 não foram cadastrados em ambas faixas de rolamento. Na faixa esquerda apenas se constata uma pequena área de desgaste no ano 2015 e trincas do tipo FC-1 no ano 2016. No entanto, a faixa direita apresenta defeitos do tipo FC-1 e FC-2 no ano 2015 e um aumento da área trincada do tipo FC-1 no ano 2016.

Figura 4.62 – Evolução de defeitos por faixas - segmento monitorado 1 (mistura asfalto-borracha).



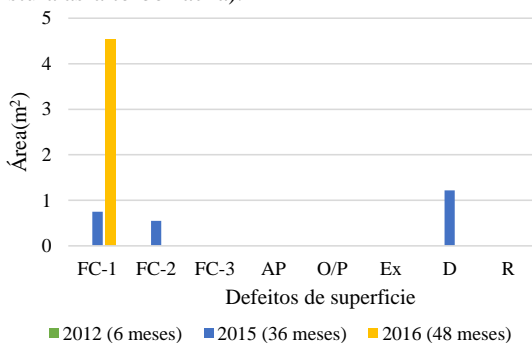
a) Faixa esquerda

Fonte: Elaboração própria.

b) Faixa direita

A Figura 4.63 resume a evolução de defeitos do segmento monitorado 1. Observa-se que o ano 2012 o pavimento não apresentou nenhum tipo de defeito. O ano 2015 verificou-se a existência de pequenas áreas com defeitos tipo FC-1, FC-2 e desgaste. Após de quatro anos de abertura ao tráfego, o defeito predominante são trincas do tipo FC-1.

Figura 4.63 – Evolução de defeitos na pista de rolamento - segmento monitorado 1 (mistura asfalto-borracha).



Fonte: Elaboração própria.

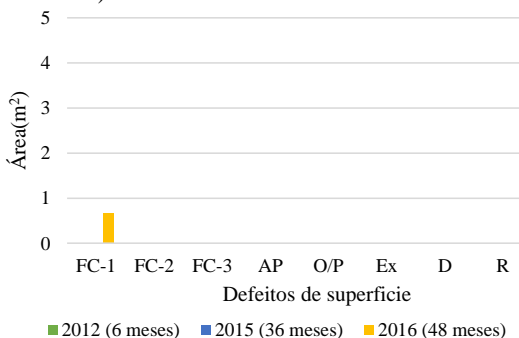
A partir da determinação da área trincada (FC1+FC2+FC3) foi possível calcular a porcentagem da área trincada. Este cálculo foi feito de duas formas: a primeira, considerando-se a área total de pista de rolamento (seção de 6,5m e 7,0m para os segmentos de Urubici e Itapoá, respectivamente); a segunda, considerando-se a área referente às trilhas de roda (4x1,2m para todos os segmentos).

Os resultados foram comparados segundo o limite estabelecido pela Agência Reguladora de Transporte do Estado de São Paulo (ARTESP, 2014) e pelo DNIT, de acordo com o Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos (BRASIL, 2006c). Ambas instituições estabelecem que quando o trincamento por fadiga atinge mais de 20% da área, será necessária a restauração da via.

A área trincada atingida até o ano 2016 é de $4,53\text{m}^2$, o que representa apenas 0,23% da área total da pista de rolamento e 0,31% da área caso se considere somente a superfície de trilha de roda na pista.

Em relação ao segmento monitorado 2, a faixa de rolamento esquerdo não apresentou defeitos superficiais, constatando-se somente algum afundamento de trilha de roda. No entanto, a faixa de rolamento direito no ano 2016 apresentou uma pequena área do defeito tipo FC-1, conforme exposto na Figura 4.64.

Figura 4.64 – Evolução de defeitos da faixa direita - segmento monitorado 2 (mistura asfalto-borracha).

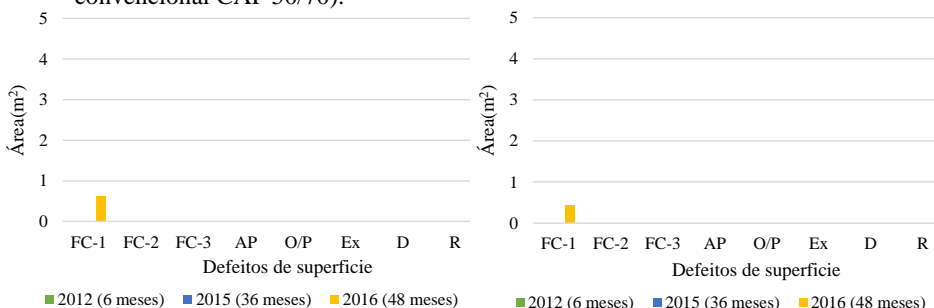


Fonte: Elaboração própria.

Em vista à inexistência de defeitos na faixa de rolamento esquerdo, a Figura 4.64 representa a evolução de defeitos na pista de rolamento do segmento monitorado 2. A área trincada atingida até o ano 2016 neste segmento é de $0,66\text{m}^2$, o que representa apenas 0,03% da área total da pista de rolamento e 0,05% da área que considera somente a superfície de trilha de roda na pista.

A Figura 4.65 resume a evolução de defeitos do segmento monitorado 3. Observa-se que os anos 2012 e 2015 o pavimento não apresentou nenhum tipo de defeito. Porém, verificou-se a existência de pequenas áreas com defeitos tipo FC-1 em ambas faixas no ano 2016.

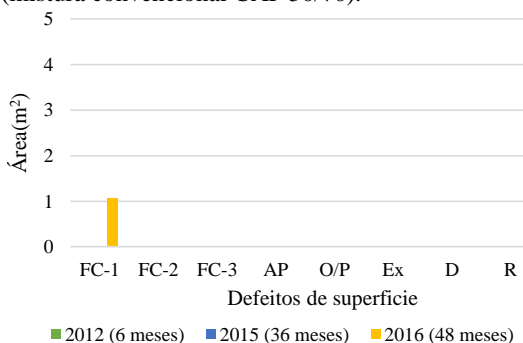
Figura 4.65 – Evolução de defeitos por faixas - segmento monitorado 3 (mistura convencional CAP 50/70).



Fonte: Elaboração própria.

No segmento monitorado 3, a área trincada atingida até o ano 2016 é de 1,06m², o que representa apenas o 0,05% da área total da pista de rolamento e 0,07% da área que considera somente a superfície de trilha de roda na pista, conforme apresentado na Figura 4.66.

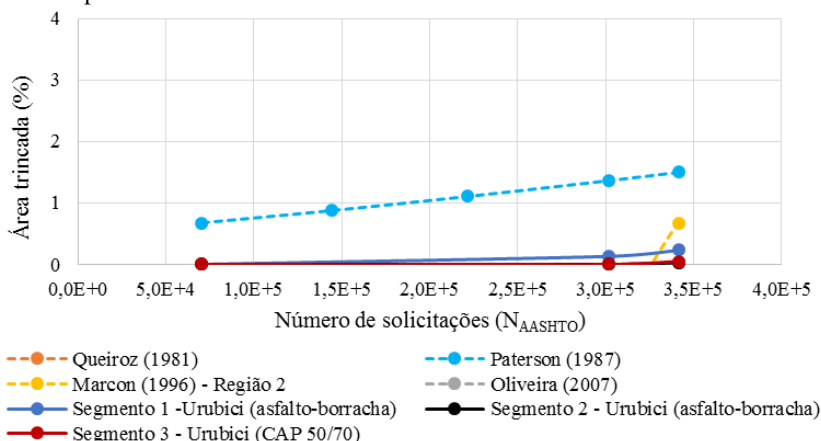
Figura 4.66 – Evolução de defeitos na pista de rolamento - segmento monitorado 3 (mistura convencional CAP 50/70).



Fonte: Elaboração própria.

A Figura 4.67 compara a evolução da área trincada dos segmentos monitorados de Urubici, em relação a modelos de desempenho apresentados. Em geral, a evolução da área trincada dos segmentos monitorados é muito inferior aos previstos pelos modelos empregados.

Figura 4.67 – Comparação da evolução da área trincada em relação aos modelos de desempenho.



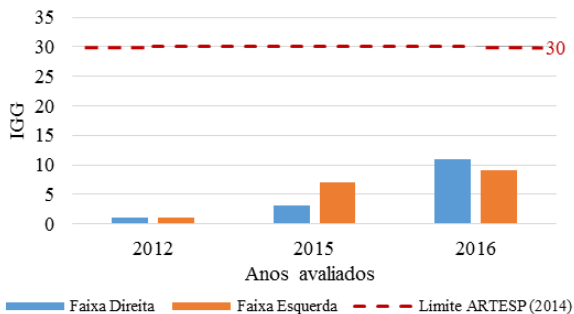
Fonte: Elaboração própria.

Dada a pouca ocorrência de trincas do tipo FC-2, modelos de previsão, como por exemplo Queiroz (1981), não foram apresentados na Figura 4.67. A baixa evolução da área trincada denota o bom desempenho funcional dos segmentos em estudo. No entanto, este comportamento pode ser atribuído também à baixa solicitação de tráfego pelos motivos já expostos.

Comparando a evolução dos segmentos, nota-se que o segmento monitorado 1 apresenta uma porcentagem de área trincada relativamente maior, quando comparada com os segmentos monitorados 2 e 3. Contudo, o defeito predominante é do tipo FC-1 e representa menos do 0,23% da área total da pista de rolamento.

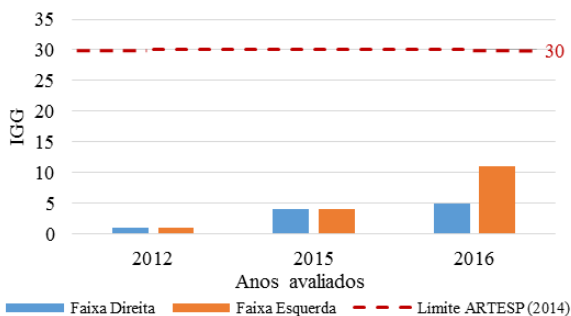
Além do cálculo da área trincada, efetuou-se a ponderação das condições do pavimento através da avaliação visual mediante o cálculo do IGG. O resultado do cálculo do IGG para os diferentes levantamentos realizados, encontra-se no Anexo A.2.2. Os resultados da avaliação do IGG dos segmentos monitorados são apresentados nas Figuras de 4.68 a 4.70.

Figura 4.68 – Evolução do IGG – segmento monitorado 1 (mistura asfalto-borracha).



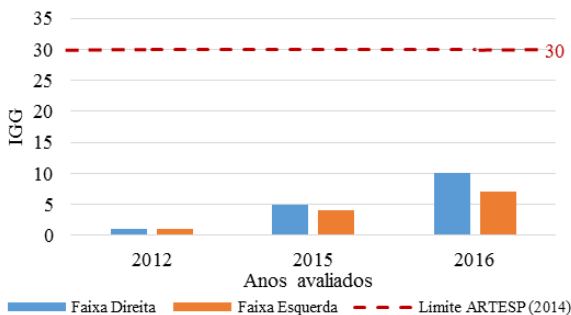
Fonte: Elaboração própria.

Figura 4.69 – Evolução do IGG – segmento monitorado 2 (mistura asfalto-borracha).



Fonte: Elaboração própria.

Figura 4.70 – Evolução do IGG – segmento monitorado 3 (mistura convencional CAP 50/70).

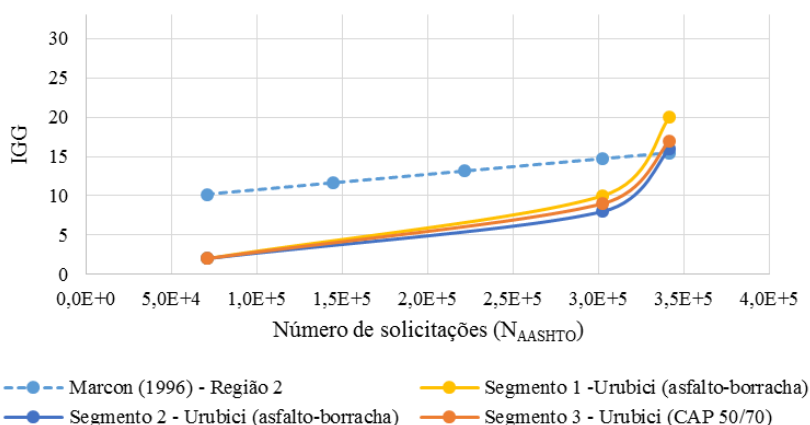


Fonte: Elaboração própria.

Observa-se um incremento gradual do IGG do ano 2012 ao 2016, verificando que os valores atingidos no ano 2016 são muito inferiores dos limites apresentados no Quadro 2.2 e o valor definido pela ARTESP (IGG ≤ 30). Após 4 anos de abertura ao tráfego pode-se classificar a superfície dos três segmentos monitorados como ótima.

A Figura 4.71 apresenta a comparação da evolução do IGG em relação ao modelo de Marcon (1996). Observa-se que a evolução do IGG dos segmentos monitorados é muito inferior ao mencionado modelo, denotando a baixa taxa de surgimento de defeitos. No entanto, no último levantamento, evidenciou-se um aumento nos valores de IGG resultado do aumento da área trincada nos segmentos em estudo.

Figura 4.71 – Comparação da evolução do IGG em relação aos modelos de desempenho.



Fonte: Elaboração própria.

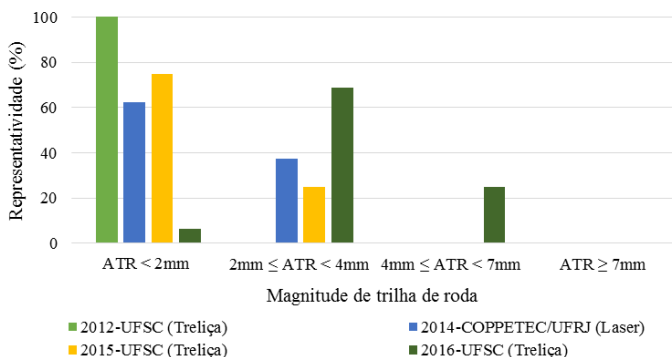
b) Análise da evolução do afundamento de trilha de roda

Com base aos resultados de afundamento de trilha de roda dos anos 2012 ao 2016 foram geradas as Figuras de 4.72 à 4.77. Para a avaliação considerou-se o limite recomendado pela ARTESP (2014), que recomenda que o afundamento de trilha de roda deve ser menor ou igual a 7mm por faixa de rolamento, considerando as condições da superfície de trechos com extensão mínima de 200m e máxima de 1000m.

Devido à baixa magnitude dos valores obtidos em campo, para melhor detalhar a evolução do afundamento de trilha de roda, optou-se pela divisão de quatro faixas: $ATR < 2\text{mm}$; $2\text{mm} \leq ATR < 4\text{mm}$; $4\text{mm} \leq ATR < 7\text{mm}$ e $ATR \geq 7\text{mm}$. Os resultados destas medições encontram-se no Anexo A.2.3.

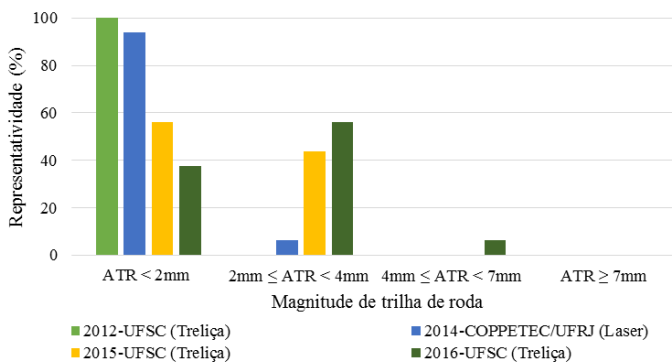
As Figuras 4.72 e 4.73 apresentam a evolução do afundamento de trilha de roda no segmento monitorado 1.

Figura 4.72 – Comparativo de afundamento de trilha de roda faixa direita - segmento monitorado 1 (mistura asfalto-borracha).



Fonte: Elaboração própria.

Figura 4.73 – Comparativo de afundamento de trilha de roda faixa esquerda - segmento monitorado 1 (mistura asfalto-borracha).



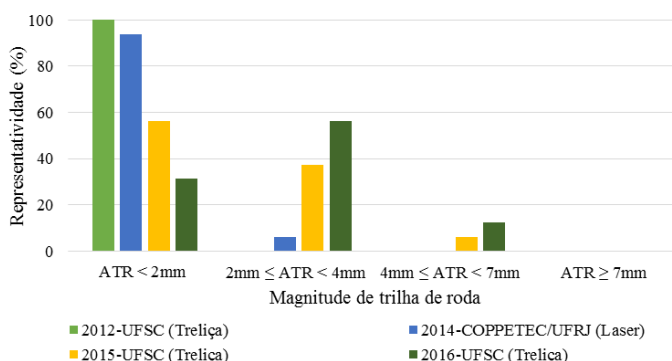
Fonte: Elaboração própria.

Observando-se as Figuras 4.72 e 4.73, pode-se verificar que no ano 2012 o segmento monitorado 1 apresentava uma alta ocorrência de

afundamentos de trilha de roda menores a 2mm. No entanto, aquela predominância foi diminuindo com o passar do tempo, evidenciando-se no ano 2016 uma diminuição do intervalo $ATR < 2\text{mm}$ e consequente aumento do intervalo $2\text{mm} \leq ATR < 4\text{mm}$, sendo que mais do 50% de afundamento de trilha de roda em ambas faixas se situa neste intervalo. De igual forma, foi constatado o aparecimento afundamentos de trilha de roda no intervalo $4\text{mm} \leq ATR < 7\text{mm}$.

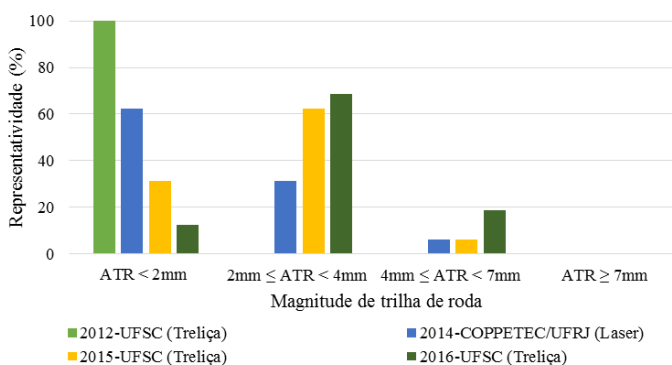
As Figuras 4.74 e 4.75 mostram a evolução do afundamento de trilha de roda no segmento monitorado 2.

Figura 4.74 – Comparativo de afundamento de trilha de roda faixa direita - segmento monitorado 2 (mistura asfalto-borracha).



Fonte: Elaboração própria.

Figura 4.75 – Comparativo de afundamento de trilha de roda faixa esquerda - segmento monitorado 2 (mistura asfalto-borracha).



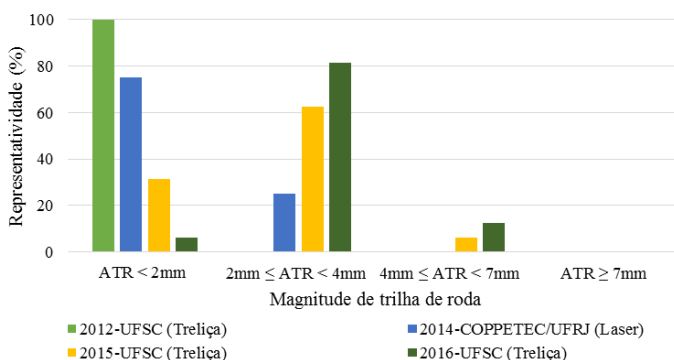
Fonte: Elaboração própria.

Observa-se nas Figuras 4.74 e 4.75 que a partir do ano 2015 a faixa esquerda apresentou uma maior evolução de afundamento de trilha de roda no intervalo $2\text{mm} \leq \text{ATR} < 4\text{mm}$ em relação à faixa direita do segmento monitorado 2.

Note-se que, diferentemente do segmento 1, o segmento monitorado 2 atingiu valores de afundamento de trilha de roda no intervalo $4\text{mm} \leq \text{ATR} < 7\text{mm}$ em ambas faixas de rolamento desde o ano 2014.

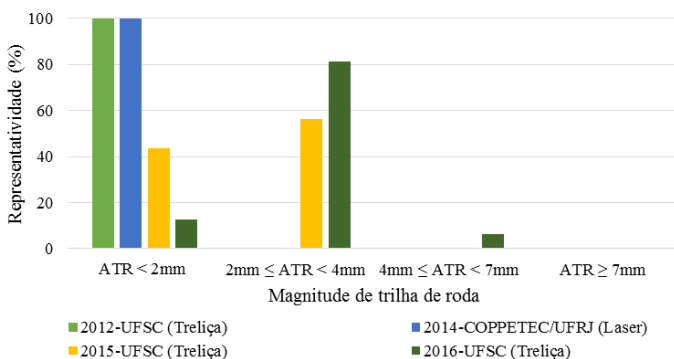
As Figuras 4.76 e 4.77 apresentam a evolução do afundamento de trilha se roda no segmento monitorado 3.

Figura 4.76 – Comparativo de afundamento de trilha de roda faixa direita, segmento monitorado 3 (mistura convencional CAP 50/70).



Fonte: Elaboração própria.

Figura 4.77 – Comparativo de afundamento de trilha de roda faixa esquerda, segmento monitorado 3 (mistura convencional CAP 50/70).



Fonte: Elaboração própria.

Conforme observado nas Figuras 4.76 e 4.77, o segmento monitorado 3 (mistura convencional CAP 50/70) apresentou a maior incidência de afundamento de trilha de roda no intervalo $2\text{mm} \leq \text{ATR} < 4\text{mm}$, em comparação aos segmentos 1 e 2 (mistura asfalto-borracha), representado este intervalo mais do 80% dos afundamentos de trilha de roda o ano 2016. No entanto, este segmento apresenta uma menor porcentagem de afundamentos de trilha de roda no intervalo $4\text{mm} \leq \text{ATR} < 7\text{mm}$ quando comparado aos segmentos 1 e 2.

A evolução do afundamento de trilha de roda, denota concordância com os ensaios de deformação permanente das placas extraídas em campo, expostos nas Figuras 4.41 e 4.42, sendo que a misturas com asfalto-borracha evidenciam uma menor deformação permanente em relação à mistura com ligante convencional CAP 50/70.

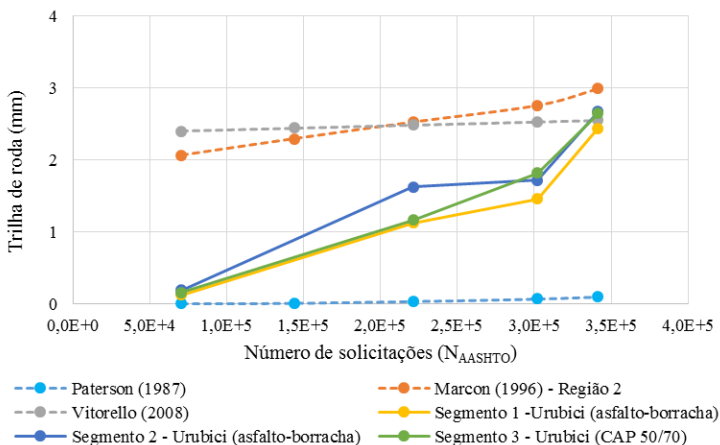
Observa-se que ao longo de quatro anos de monitoramento, existiu uma predominância de afundamento de trilha de roda nos intervalos $\text{ATR} < 2\text{mm}$ e $2\text{mm} \leq \text{ATR} < 4\text{mm}$. Nos três segmentos monitorados, o intervalo $4\text{mm} \leq \text{ATR} < 7\text{mm}$, representa menos do 20% dos afundamentos de trilha de roda para no ano 2016.

De modo geral, foi evidenciado o bom desempenho dos segmentos monitorados de Urubici quanto ao afundamento de trilha de roda, sendo que nenhum deles se aproxima à categoria $\text{ATR} \geq 7\text{mm}$, considerado o limite máximo de afundamento segundo o ARTESP (2014).

A Figura 4.78 apresenta a comparação da evolução de afundamento de trilha de roda em relação aos modelos de desempenho desenvolvidos por Paterson (1987), Marcon (1996) e Vitorello (2008).

O afundamento de trilha de roda apresenta uma evolução inferior em relação à previsão feita pelos modelos de desempenho. Observa-se que os segmentos 1 e 2, ambos com mistura asfalto-borracha, evoluem quase paralelamente. No entanto, o segmento 2 apresenta um maior afundamento de trilha de roda, que o segmento 1. A inclinação do gráfico que representa a evolução de trilha de roda do segmento 3, denota uma maior taxa de variação do afundamento de trilha de roda, comparada com os segmentos 1 e 2.

Figura 4.78 – Comparação da evolução do afundamento de trilha de roda em relação dos modelos de desempenho.



Fonte: Elaboração própria.

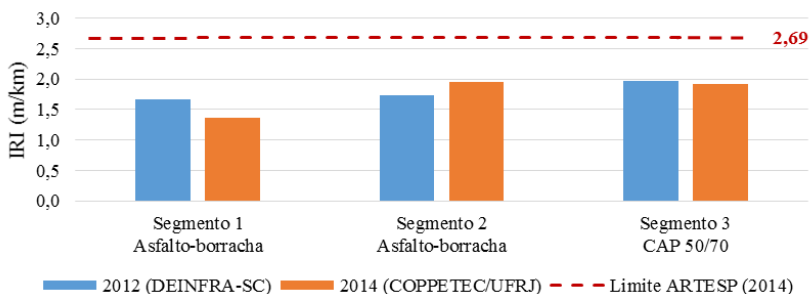
c) Avaliação da irregularidade IRI

A avaliação da irregularidade longitudinal (IRI) foi realizada com base aos resultados do levantamento efetuado pelo DEINFRA-SC, no ano 2012, e pela COPPETEC/UFRJ, no ano 2014. Os resultados destas medições encontram-se no Anexo A.2.4.

A Figura 4.79, apresenta a avaliação por faixa de rolamento do valor médio do IRI. Segundo o DNIT (BRASIL, 2006c), quando o valor do IRI encontra-se entre 3,5 e 4,0 m/km, o pavimento passa a apresentar um desempenho próximo a sua condição limite permissível. No entanto, a ARTESP (2014) estabeleceu para trechos com extensão mínima de 200m e máxima de 1000m, o valor do IRI menor o igual a 2,9m/km para rodovias pavimentadas. Sendo os limites da ARTESP (2014) mais exigentes, adotou-se esses valores para a avaliação da medida do IRI.

Na Figura 4.79 observa-se o comportamento semelhante do segmento 2 (mistura asfalto-borracha) e o segmento 3 (mistura convencional CAP 50/70), em relação aos valores de irregularidade longitudinal.

Figura 4.79 – Irregularidade longitudinal (2014).



Fonte: Elaboração própria.

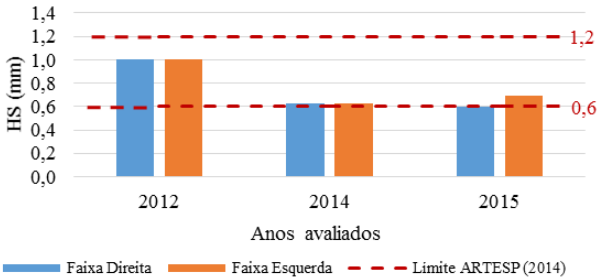
Note-se que após de 2 anos de abertura ao tráfego (ano 2014) o valor médio do IRI, correspondente aos segmentos monitorados de Urubici, encontram-se dentro do limite de aceitabilidade proposta pela ARTESP ($IRI \leq 2,69 \text{ m/km}$), e com conceito entre excelente e bom, segundo o definido no DNIT (BRASIL, 2006c).

d) *Análise da macrotextura e microtextura*

A análise de macrotextura foi realizado com base nos resultados do ensaio de mancha de areia, realizados nos anos 2014 (COPPETEC/UFRJ) e 2015 (Laboratório de pavimentação da UFSC). As medidas da previsão da macrotextura no ano de abertura ao tráfego, realizadas em placas moldadas em laboratório foram obtidas da pesquisa de Ferreira (2016). Os resultados destas medições encontram-se no Anexo A.2.5.

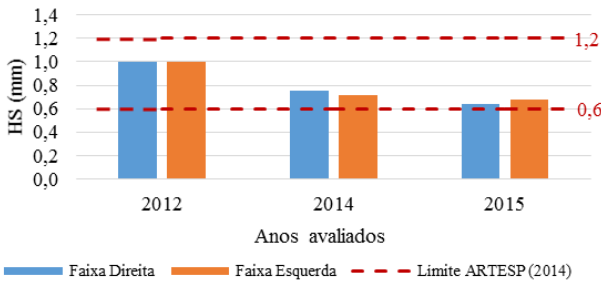
As Figuras de 4.80 à 4.82 apresentam os resultados da altura média de mancha de areia (HS), comparando ambas faixas de rolamento dos segmentos em estudo. A faixa recomendada para os segmentos monitorados é $0,6 \text{ mm} \leq HS \leq 1,2 \text{ mm}$, ou seja, as superfícies devem apresentar textura média a grossa (REDE, 2010).

Figura 4.80 – Comparação dos valores de macrotextura - segmento monitorado 1 (mistura asfalto-borracha).



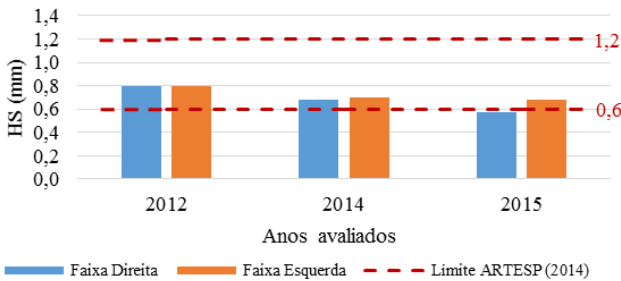
Fonte: Elaboração própria.

Figura 4.81 – Comparação dos valores de macrotextura - segmento monitorado 2 (mistura asfalto-borracha).



Fonte: Elaboração própria.

Figura 4.82 – Comparação dos valores de macrotextura - segmento monitorado 3 (mistura convencional CAP 50/70).



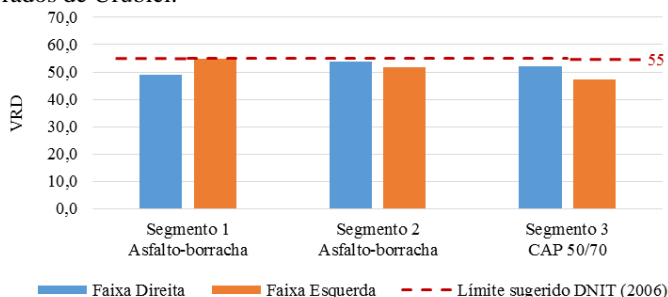
Fonte: Elaboração própria.

Nos três segmentos avaliados, verifica-se que a faixa direita da pista de rolamento, apresenta uma macrotextura mais fechada em relação à faixa esquerda. Considerando-se que a altura de areia de ambas faixas de rolamento se encontram no intervalo recomendado pela REDE (2010), a macrotextura dos segmentos em estudo pode ser classificada como média. Esta condição indica uma macrotextura fechada, aumentando o risco de hidroplanagem (BRASIL, 2006c).

A microtextura foi determinada mediante o ensaio de Pêndulo Britânico, nos mesmos locais do ensaio de Mancha de Areia o ano 2015. Os resultados destas medições encontram-se no Anexo A.2.5.

Para a avaliação dos segmentos monitorados, recomendou-se o valor de VRD ≥ 55 , microtextura característica de uma superfície medianamente rugosa a rugosa (BRASIL, 2006c). A comparação dos valores de microtextura medida com o pêndulo britânico é apresentado na Figura 4.83.

Figura 4.83 – Comparação de valores de microtextura (2015) - segmentos monitorados de Urubici.

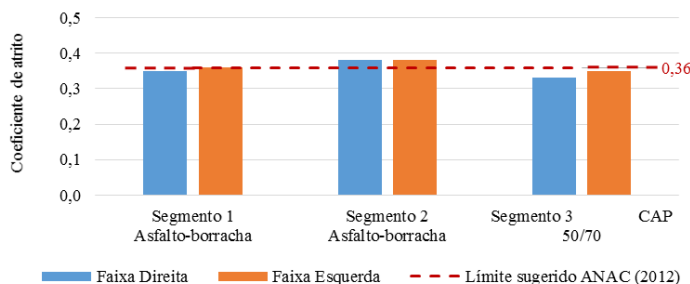


Fonte: Elaboração própria.

Em média, os valores de microtextura de ambas faixas de rolamento dos três segmentos ficaram abaixo do limite sugerido pelo DNIT (Brasil, 2006c). Deste modo, os segmentos monitorados de Urubici, foram classificados com microtextura insuficientemente rugosa a medianamente rugosa.

Em relação à resistência à derrapagem, a Figura 4.84 apresenta a comparação do coeficiente de atrito dos segmentos monitorados medido com o *Grip Tester*, efetuado no ano 2014 pela COPPETEC/UFRJ.

Figura 4.84 – Comparação de valores de microtextura obtidos com o *Grip Tester* (2014) - segmentos monitorados de Urubici.



Fonte: Adaptado Ferreira (2016).

Observa-se que os dois primeiros segmentos estão próximos do nível de manutenção, conforme os limites sugeridos pela ANAC (2012), enquanto que, o terceiro segmento apresenta características de atrito entre o nível mínimo aceitável e o nível de manutenção.

Comparando o resultado das medidas de microtextura de ambos equipamentos, observa-se uma insuficiente resistência à derrapagem dos segmentos monitorados, com especial ênfase no segmento 3.

Seria recomendado ao DEINFRA-SC que realizasse uma medição do atrito em todo o trecho da rodovia para avaliar a necessidade ou não de uma intervenção que propiciasse o aumento da aderência pneu/pavimento.

4.5.2.2 Avaliação estrutural

a) Evolução de deflexões

A análise da evolução de deflexões dos segmentos monitorados de Urubici, está baseada nos levantamentos deflectométricos efetuados em janeiro de 2012 (ano zero) e março de 2014 (cerca de 2 anos após abertura ao tráfego), realizadas com viga Benkelman e o equipamento FWD, respectivamente.

Dado que os levantamentos realizados usaram equipamentos que proporcionam medidas de deflexão diferentes, teve-se a necessidade de recorrer a duas correlações entre as deflexões características medidas com a Viga Benkelman e o FWD.

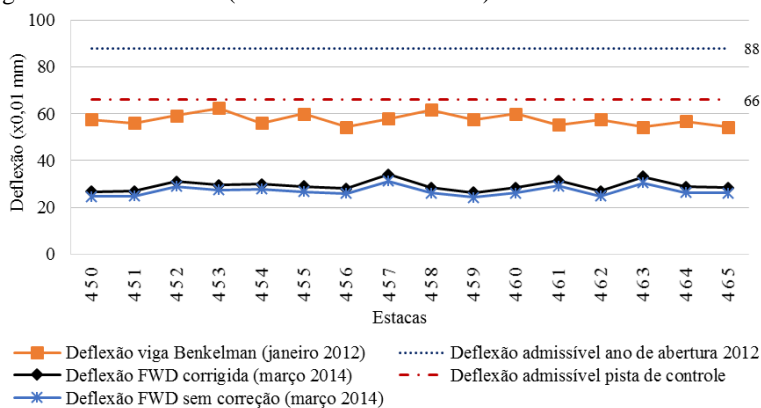
A primeira correlação corresponde ao uso do fator de correção em função da temperatura do pavimento, para os valores defletométricos

medidos com o FWD no ano 2014. Tais correções foram realizadas empregando o ábaco DER-SP (2006) apresentado na Figura 2.3. A segunda correlação corresponde à transformação das deflexões obtidas o ano 2014 com o equipamento FDW, em deflexões equivalentes à viga Benkelman. Para tanto, foi utilizada a correlação da estrutura Tipo 1 (Figura 2.3), desenvolvida por Borges (2001). Os resultados das medidas de deflexão encontram-se no Anexo A.3.1.

Posteriormente, para comparar as deflexões medidas, foi determinada a deflexão admissível (D_{adm}) definida pela Equação (2.2) do Método de dimensionamento de pavimentos TECNAPAV, baseado no $N_{8,2tf}$ da abertura ao tráfego em 2012.

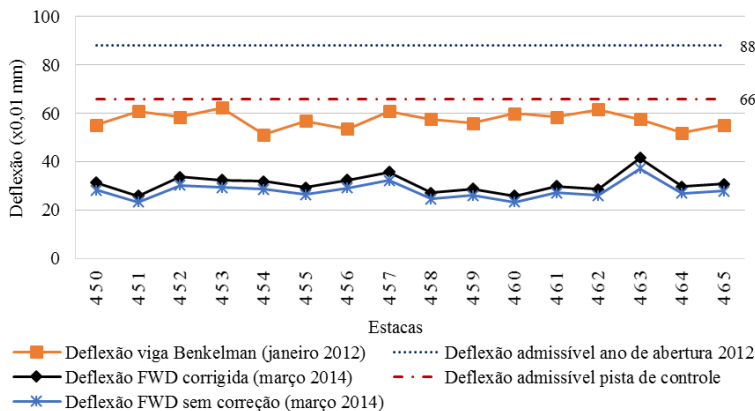
As Figuras de 4.85 à 4.90, apresentam a comparação das deflexões por faixa de rolamento, em função da deflexão característica admissível determinada na pista de controle executada no início da obra, e a deflexão admissível calculada para o ano 2012.

Figura 4.85 – Comparação de deflexões do revestimento - faixa direita segmento monitorado 1 (mistura asfalto-borracha).



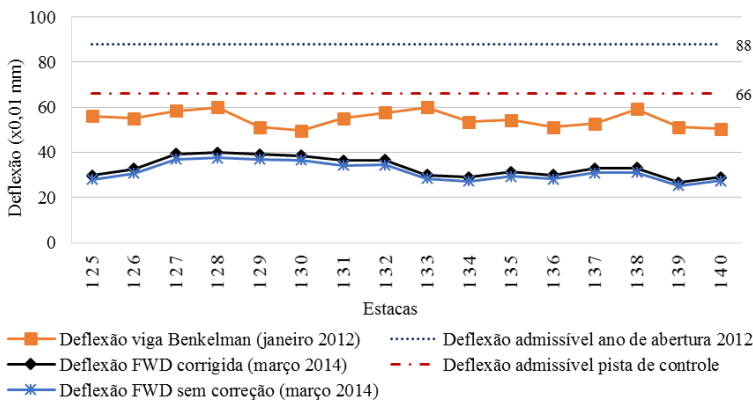
Fonte: Elaboração própria.

Figura 4.86 – Variação das deflexões no revestimento - faixa esquerda segmento monitorado 1 (mistura asfalto-borracha).



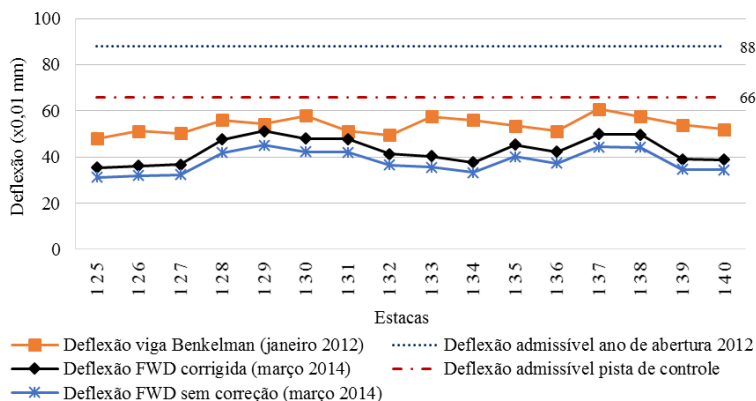
Fonte: Elaboração própria.

Figura 4.87 – Variação das deflexões no revestimento - faixa direita segmento monitorado 2 (mistura asfalto-borracha).



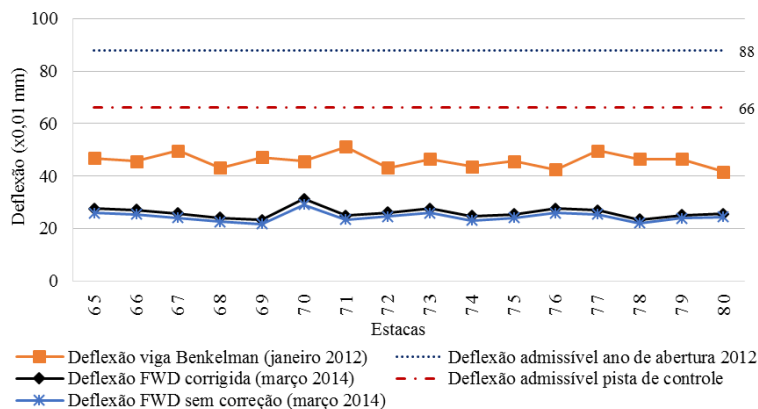
Fonte: Elaboração própria.

Figura 4.88 – Variação das deflexões no revestimento - faixa esquerda segmento monitorado 2 (mistura asfalto-borracha).



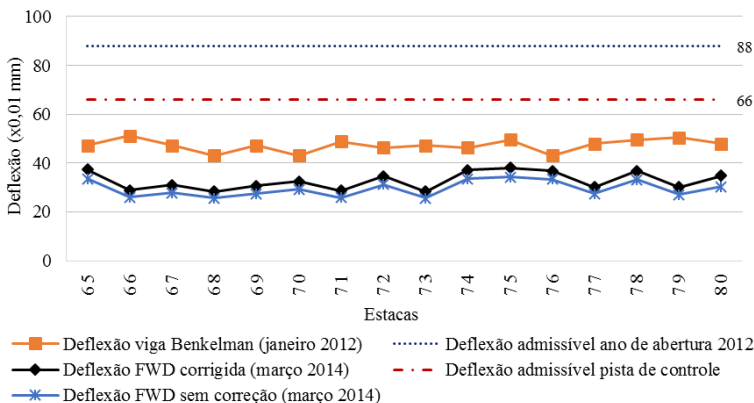
Fonte: Elaboração própria.

Figura 4.89 – Variação das deflexões no revestimento - faixa direita segmento monitorado 3 (mistura convencional CAP 50/70).



Fonte: Elaboração própria.

Figura 4.90 – Variação das deflexões no revestimento – faixa esquerda segmento monitorado 3 (mistura convencional CAP 50/70).



Fonte: Elaboração própria.

A partir da Figuras 4.85 à 4.90, observa-se que os valores de deflexão dos anos 2012 e 2014 estão abaixo do valor de deflexão admissível calculado. Verifica-se, desta forma, que os valores de deflexão do ano 2014 (devidamente transformados a deflexões equivalentes à viga Benkelman) são, em geral, menores que os valores de deflexão medidos o ano 2012. Em parte, isto pode ser consequência da pós-compactação propiciada pela ação do tráfego e, assim como também, pelo uso de diferentes equipamentos para a medição da deflexão, mesmo que se tenha feito a conversão segundo Borges (2001).

As deflexões iniciais dos segmentos 1 e 2, são maiores que a deflexão medida no segmento 3. Em parte, esta diferença se deve a utilização de mistura convencional com módulo resiliente médio de 7289 MPa no segmento monitorado 3, enquanto os segmentos 1 e 2, foi utilizado mistura asfalto-borracha com módulo resiliente médio igual a 4628 MPa, resultando, deste modo, em uma maior deflexão nestes segmentos.

No Quadro 4.50 consta o resumo dos valores do levantamento de deflexão nos segmentos monitorados.

Quadro 4.50 – Evolução da deflexão do revestimento.

Segmento	1			2			3		
Ano	2012 (VB) ⁽ⁱ⁾	2014 (FWD) C ⁽ⁱⁱ⁾	2014 (FWD) S ⁽ⁱⁱⁱ⁾	2012 (VB)	2014 (FWD) C	2014 (FWD) S	2012 (VB)	2014 (FWD) C	2014 (FWD) S
Deflexão média (x0,01mm)	57,5	30,1	27,5	54,3	38,2	34,7	46,6	29,4	27,0
Desvio Padrão (x0,01mm)	2,9	3,1	2,8	3,6	4,9	4,5	2,6	2,8	2,5
Deflexão característica (x0,01mm)	60,4	33,1	30,2	57,9	43,1	39,2	49,2	32,2	29,5
Coeficiente de variação (%)	5,1	10,2	10,0	6,5	12,8	12,9	5,5	9,4	9,3
Deflexão admissível (x0,01mm)	66								

Observações referentes ao Quadro 4.50:

(i) VB = Deflexão medida com Viga Benkelman;

(ii) (FWD)C = deflexão medida com FWD corrigida por temperatura e transformado a deflexão de viga Benkelman;

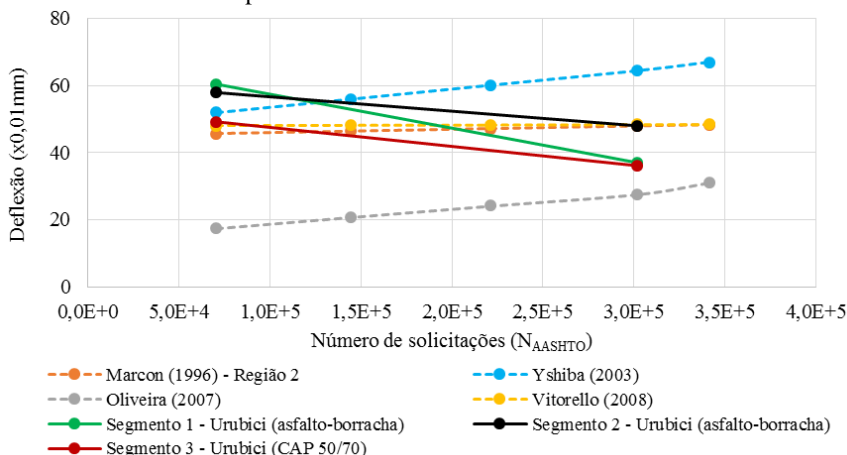
(iii) (FWD) S = deflexão medida com FWD sem nenhuma correção.

Fonte: Elaboração própria.

A Figura 4.91 compara a evolução da deflexão do pavimento dos segmentos monitorados de Urubici em relação aos modelos de desempenho. Observa-se que as primeiras medidas de deflexão em todos segmentos apresentaram valores mais elevados que os modelos propostos na literatura. Posteriormente, os segmentos 1 e 3 sofreram uma fase de consolidação, provocando uma diminuição das medidas de deflexão e atingindo valores menores que os modelos de Marcon (1996), Yshiba (2003) e Vitorello (2008). O segmento monitorado 2 também apresentou uma consolidação da estrutura do pavimento. No entanto, a evolução da deflexão para o ano 2014, coincide com os modelos propostos por Marcon (1996) e Vitorello (2008).

Fica evidente que o segmento monitorado 1 sofreu uma maior consolidação, quando comparada com os segmentos monitorados 2 e 3, atingindo para o ano 2014 deflexões da ordem do segmento monitorado 3. Neste sentido, é possível que o desempenho do segmento 1 seja atribuído às camadas inferiores e não propriamente ao revestimento com rigidez menor. Note-se a discordante evolução da deflexão em relação ao segmento 2, que apresenta uma camada de revestimento do mesmo material que o segmento 1 (mistura asfalto-borracha).

Figura 4.91 – Comparação da evolução da deflexão do revestimento em relação dos modelos de desempenho.



Fonte: Elaboração própria.

b) Retroanálise das estruturas existentes

Através da retroanálise das bacias de deformação medidas em 2014 com o equipamento FWD, corrigidas para temperatura de 25°C, foram estimados os valores do módulo de elasticidade para cada camada do pavimento.

A retroanálise foi conduzida empregando-se o *software* BAKFAA. O Quadro 4.51 resume os resultados obtidos deste processo.

Quadro 4.51 – Módulos de elasticidade estimados por retroanálise.

SEGMENTO	Camada	Revestimento		Base		Sub-base		Subleito	
	Faixa	Direita	Esquerda	Direita	Esquerda	Direita	Esquerda	Direita	Esquerda
1	Média (MPa)	4.775	5.136	554	554	281	261	170	176
	SV (MPa)	1.153	1.165	129	122	81	72	15	19
	Média total (MPa)	4.955		554		271		173	
	SV (MPa)	1.159		125		77		17	
2	Média (MPa)	5.302	5.284	449	375	272	174	167	172
	SV (MPa)	1.413	1.281	91	66	70	53	20	17
	Média total (MPa)	5.293		412		223		170	
	SV (MPa)	1.347		79		62		19	
3	Média (MPa)	7.361	7.605	603	617	321	237	170	185
	SV (MPa)	1.001	713	91	79	76	68	21	26
	Média total (MPa)	7.483		610		279		178	
	SV (MPa)	857		85		72		24	

Fonte: Elaboração própria.

Do Quadro 4.51, observa-se que os módulos de elasticidade dos segmentos monitorados 1 e 2, que apresentam o mesmo material na camada de revestimento (mistura asfalto-borracha) evidenciam uma variação. Esta diferença poderia ser decorrente da configuração estrutural destes segmentos, além da variabilidade do processo construtivo. No segmento 1, se tem 2cm de massa fina e 4cm de asfalto-borracha e, no segmento 2, se tem 6 cm de asfalto borracha.

Note-se que os resultados apresentados não são absolutos dado que depende do processo iterativo da retroanálise e dos módulos sementes iniciais.

4.5.3 Análise e modelação do desempenho do segmento monitorado de Itapoá

4.5.3.1 Análise funcional

a) Análise da evolução dos defeitos superficiais

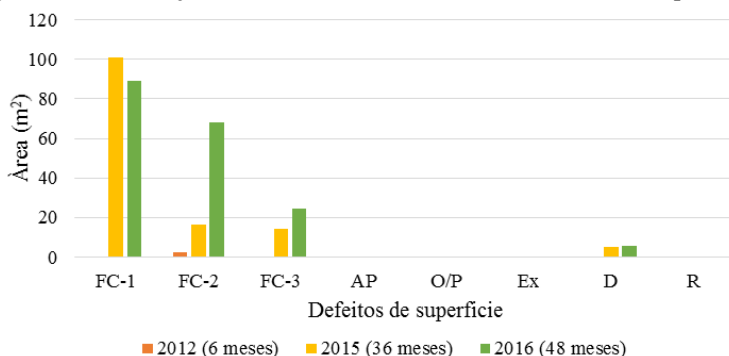
Para a análise da evolução dos defeitos superficiais, considerou-se a área (em m²) atingida de cada um dos defeitos registrados nas faixas de

rolamento. O cálculo da área, foi realizado com base ao levantamento de defeitos da superfície realizado o ano 2012 (6 meses), 2015 (36 meses) e 2016 (48 meses). Os resultados destes levantamentos encontram-se no Anexo B.2.1.

A Figura 4.92 apresenta a evolução de defeitos na faixa direita do segmento monitorado de Itapoá (sentido Garuva-Itapoá). Observa-se o considerável aumento da área do defeito tipo FC-1, que após três anos de abertura ao tráfego atingiu uma área de 100,9m². Posteriormente, no ano 2016, mais da metade dos defeitos tipo FC-1 computados no ano 2015 evoluíram ao tipo de defeito FC-2. A rápida evolução de defeitos nesta faixa, pode ser o resultado de uma variedade de fatores, entre elas tem-se:

- a importante frota de caminhões carregados que se dirigem ao Porto de Itapoá e solicitam esta faixa (Garuva-Itapoá);
- uma vez iniciado o trincamento tipo FC-1, estas progridem em área e severidade;
- entrada de água nas trincas abertas na superfície do pavimento, sendo que o segmento em estudo encontra-se inserido na região de maior pluviosidade do estado de Santa Catarina (valores acima de 2.400mm/ano);
- o aumento da irregularidade produzida pelos defeitos, aumentam as cargas dinâmicas aplicadas pelos veículos em movimento, acelerando o processo de degradação da superfície.
- a presença de uma empresa de terraplenagem que explora material de uma jazida de solo desde o ano 2014. A jazida se localiza na estaca 1175 na faixa esquerda mas o tráfego dela vai para faixa da direita.

Figura 4.92 – Evolução de defeitos - faixa direita (sentido Garuva-Itapoá).

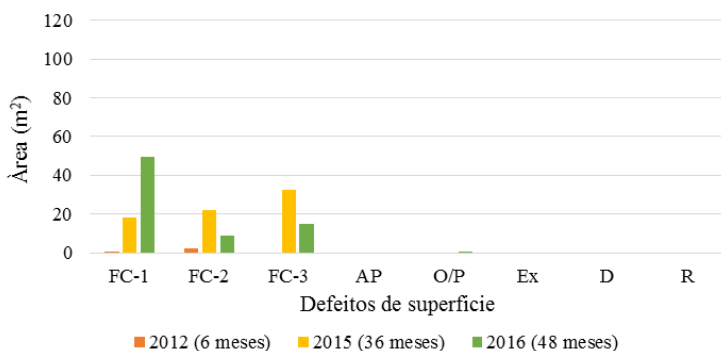


Fonte: Elaboração própria.

A Figura 4.93 exibe a evolução de defeitos na faixa esquerda do segmento monitorado de Itapoá (sentido Itapoá-Garuva). Observa-se a evolução de defeitos do tipo FC-1, FC-2 e, em maior proporção, o defeito tipo FC-3, após três anos de abertura ao tráfego, registrada no ano 2015. O incremento do defeito tipo FC-3 pode ser explicado pelo fato que o defeito FC-2, já existente em 2012, progrediu para o tipo FC-3. No levantamento efetuado o ano 2016, evidenciou-se uma maior proporção de defeitos tipo FC-1 e FC-3.

Contudo, a área de defeitos da faixa esquerda apresenta 57,8% menos de área trincada em relação à faixa de rolamento direita.

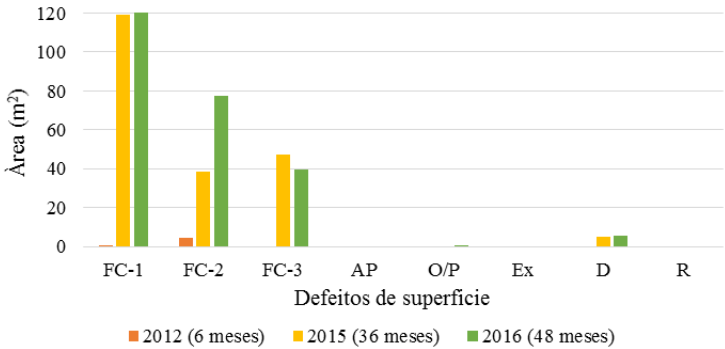
Figura 4.93 – Evolução de defeitos - faixa esquerda (sentido Itapoá-Garuva).



Fonte: Elaboração própria.

A Figura 4.94 apresenta a evolução de defeitos superficiais na pista de rolamento do segmento de Itapoá. A área trincada atingida até o ano 2016 é de 260,5m², o que representa o 12,4% da área total da pista de rolamento (pista com 7,0 metros de largura) e 18,1% da área que considera somente a superfície de trilha de roda na pista (4x1,2m).

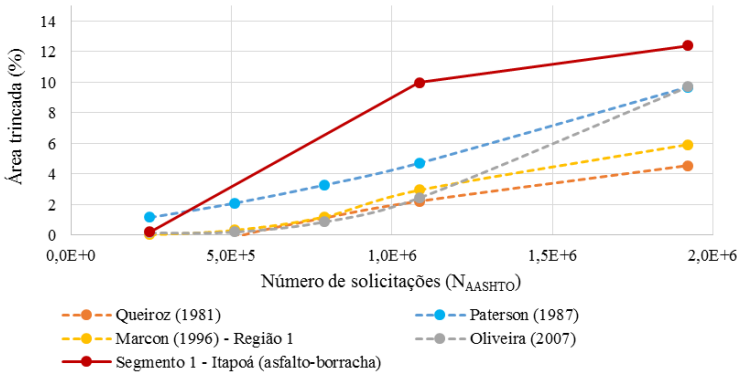
Figura 4.94 – Evolução de defeitos na pista de rolamento.



Fonte: Elaboração própria.

Comparando a evolução da área trincada do segmento monitorado de Itapoá (Figura 4.95), pode-se verificar o acelerado processo de trincamento deste segmento em relação aos valores previstos pelos modelos de desempenho.

Figura 4.95 – Comparação da evolução da área trincada em relação dos modelos calibrados no Brasil.



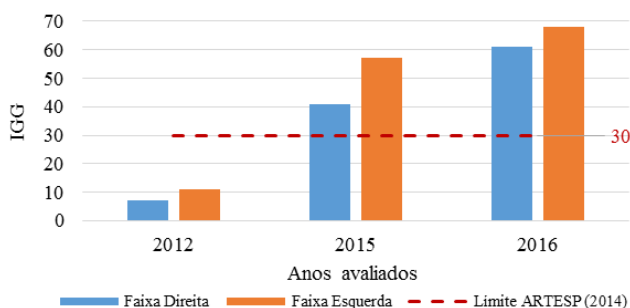
Fonte: Elaboração própria.

Para a avaliação objetiva da superfície do pavimento foi determinado o IGG. O resultado é apresentado na Figura 4.96. O resultado do cálculo do IGG para os diferentes levantamentos realizados encontra-se no Anexo B.2.2.

Observa-se que no ano de 2012 a condição superficial de ambas faixas de rolamento foi classificada como ótima. No ano de 2015, a faixa esquerda apresentou um aumento de 39,0% do IGG em relação à faixa direita, o que é explicado pela maior porcentagem de caminhões carregados no sentido ao Porto de Itapoá. Neste mesmo ano, ambas faixas foram classificadas como regular, fora do valor delimitado pela ARTESP (2014), $IGG \leq 30$.

No ano 2016, aumentaram as ocorrências de defeitos tipo FC-1, FC-2 e FC-3 atingindo, ambas faixas de rolamento, valores de IGG acima de 60 e atribuindo uma condição funcional do pavimento regular.

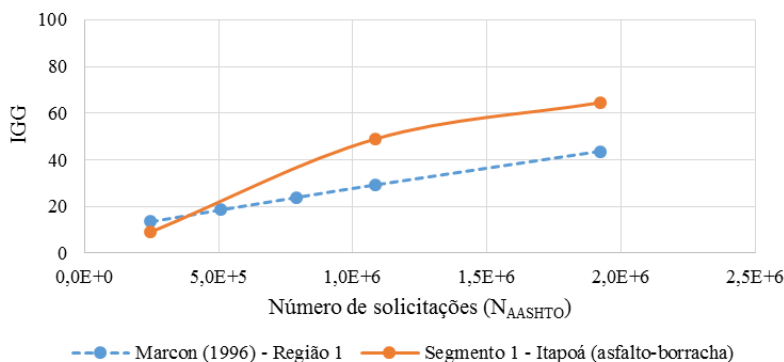
Figura 4.96 – Evolução do IGG.



Fonte: Elaboração própria.

A evolução do valor de IGG do segmento monitorado de Itapoá teve um comportamento semelhante ao modelo proposto por Marcon (1996), como pode ser observado na Figura 4.97. Porém, o aumento significativo no valor de IGG logo no ano de abertura ao tráfego foi devido ao surgimento e evolução dos defeitos tipo FC-1 a FC-3.

Figura 4.97 – Comparação da evolução do IGG em relação ao modelo proposto por Marcon (1996).



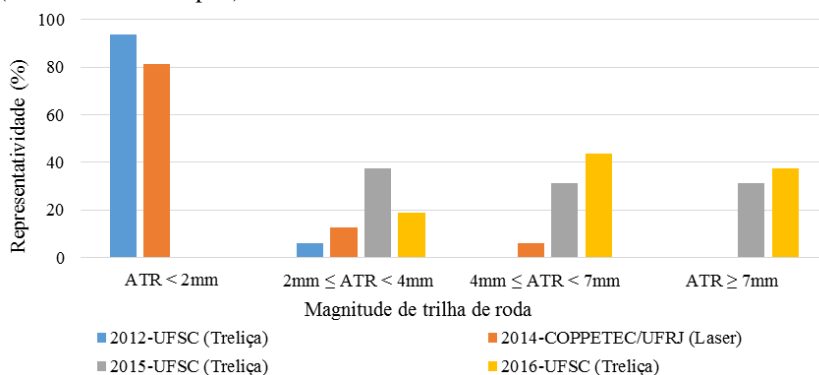
Fonte: Elaboração própria.

b) Análise da evolução do afundamento de trilha de roda

Os resultados do afundamento de trilha de roda foram compilados nas Figuras 4.98 e 4.99. Para detalhar a evolução do afundamento de trilha de roda, foi optado pela divisão em quatro intervalos: $ATR < 2\text{mm}$; $2\text{mm} \leq ATR < 4\text{mm}$; $4\text{mm} \leq ATR < 7\text{mm}$ e $ATR \geq 7\text{mm}$. Os resultados destas medições encontram-se no Anexo B.2.3.

A Figura 4.98 apresenta o comparativo de afundamento de trilha de roda da faixa direita. Observa-se que nos anos 2012 e 2014 foi verificado uma alta ocorrência de afundamentos de trilha de roda no intervalo de $ATR < 2\text{mm}$. A partir de ano 2015, evidenciou-se afundamentos de trilha de roda superiores ao intervalo de $2\text{mm} \leq ATR < 4\text{mm}$, atingindo inclusive o intervalo de $ATR \geq 7\text{mm}$, o mesmo que representa mais de 30% dos afundamentos medidos nesta faixa.

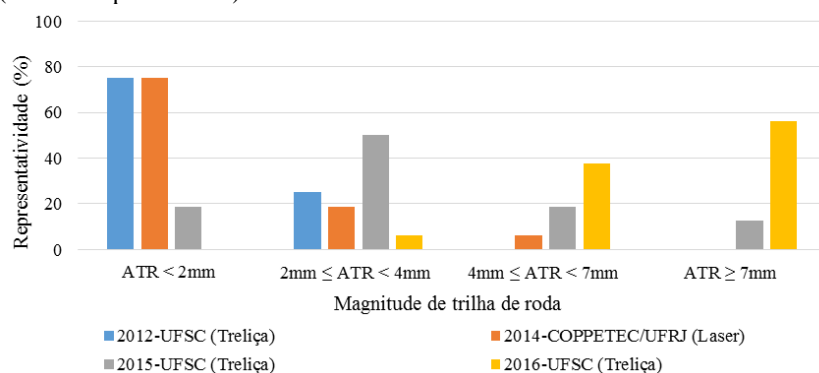
Figura 4.98 – Comparativo de afundamento de trilha de roda faixa direita (sentido Garuva-Itapoá).



Fonte: Elaboração própria.

Em relação ao afundamento de trilha de roda da faixa esquerda, exposta na Figura 4.99, nota-se que no ano 2016 mais de 50% dos valores medidos pertencem ao intervalo $ATR < 7\text{mm}$. O fato do afundamento se concentrar no intervalo mencionado, pode ser consequência da presença de uma empresa de terraplenagem, que começou a explorar material de uma jazida grande de solo a partir de 2014, localizada na estaca 1175 desta faixa.

Figura 4.99 – Comparativo de afundamento de trilha de roda faixa esquerda (sentido Itapoá-Garuva).



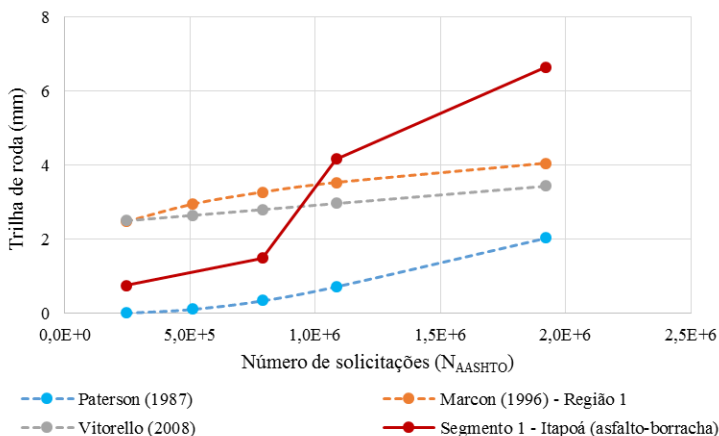
Fonte: Elaboração própria.

Contudo, percebe-se que no último levantamento efetuado o ano 2016, ambas faixas apresentam afundamentos de trilha de roda acima do

intervalo de $4\text{mm} \leq \text{ATR} < 7\text{mm}$, atingindo afundamentos no intervalo $\text{ATR} \geq 7\text{mm}$, muito acima do limite recomendado pela ARTESP (2014). O aumento do afundamento de trilha de roda nos intervalos mencionados, pode estar associado à demanda de tráfego (contêiner cheio) que ingressa ao Porto de Itapoá e também à exploração da jazida (provavelmente com excesso de carga).

A evolução do afundamento de trilha de roda do segmento de Itapoá, ultrapassa a tendência dos modelos de desempenho propostos por Paterson (1987), Marcon (1996) e Vitorello (2008), conforme mostrado na Figura 4.100. Esta situação denota o rápido processo de deterioração do segmento em estudo.

Figura 4.100 – Comparação da evolução do afundamento de trilha de roda em relação dos modelos de desempenho.



Fonte: Elaboração própria.

c) Avaliação da irregularidade IRI

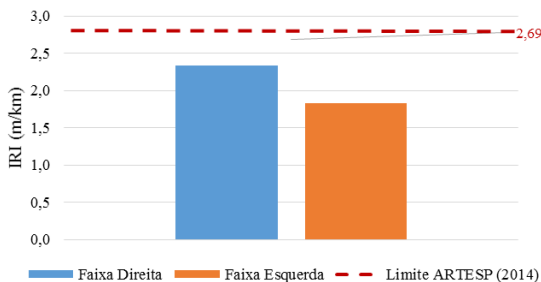
A avaliação da irregularidade longitudinal foi realizada com base aos resultados do levantamento efetuado pela COPPETEC/UFRJ no ano 2014. Os resultados desta medição encontram-se no Anexo B.2.4.

A Figura 4.101 apresenta a média do IRI avaliada por faixa de rolamento. Verifica-se que a faixa direita apresenta um valor médio de IRI (2,34m/km), superior à faixa esquerda (1,83m/km), indicando uma maior solicitação de tráfego na faixa direita.

Entretanto, para o ano 2014, a média do IRI apresentado pelo segmento monitorado de Itapoá se encontra dentro do limite proposto pela

ARTESP (2014), $IRI \leq 2,69 \text{ m/km}$, e com conceito entre bom e regular segundo o definido no DNIT (BRASIL, 2006c).

Figura 4.101 – Irregularidade longitudinal (2014).



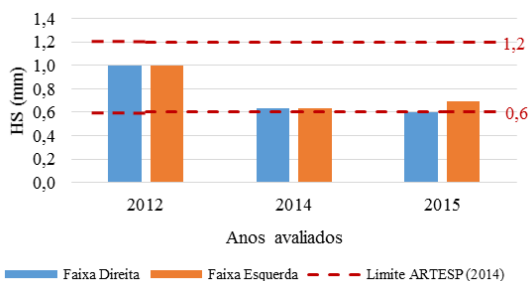
Fonte: Elaboração própria.

d) Análise da macrotextura e microtextura

A análise de macrotextura foi feita com base nos resultados do ensaio de mancha de areia, realizados nos anos 2014 (COPPETEC/UFRJ) e 2015 (Laboratório de pavimentação da UFSC). As medidas da previsão da macrotextura no ano de abertura ao tráfego (2012), realizadas em placas moldadas em laboratório, foram obtidas da pesquisa de Ferreira (2016). Os resultados destas medições encontram-se no Anexo B.2.5.

A Figura 4.102, apresenta o resultado da altura média de mancha de areia (HS), comparando ambas faixas de rolamento do segmento em estudo.

Figura 4.102 – Comparação de valores de macrotextura.



Fonte: Elaboração própria.

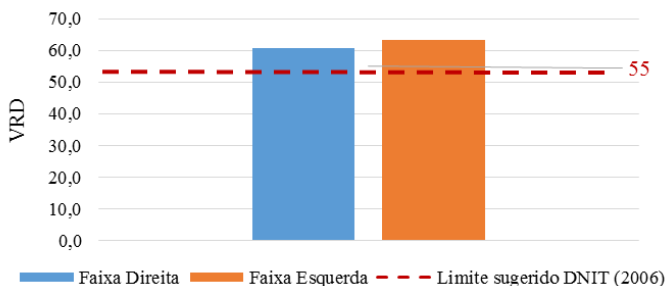
Pode-se verificar, que ambas faixas de rolamento se encontram próximas do mínimo recomendado pelo DNIT (BRASIL, 2006c). Observando os valores de macrotextura obtidos em laboratório, constata-se uma queda de 33%. Esta alteração pode ser consequência do diferente método de compactação no laboratório quando comparado com às condições de campo. Em laboratório a compactação é realizado somente com rolos de pneus.

A análise da microtextura foi realizada conforme os resultados do ensaio do pêndulo britânico, executado em março 2015. Os resultados destas medições encontram-se no Anexo B.2.5.

Segundo ao exposto na Figura 4.103, a faixa direita do segmento monitorado apresenta valores de microtextura menores que a faixa esquerda. Ressalta-se que neste sentido (Garuva-Itapoá), tem-se a atuação do tráfego de caminhões carregados que se dirigem ao Porto de Itapoá.

Verifica-se que a média dos valores de microtextura de ambas faixas se encontram acima do limite mínimo sugerido de valor de resistência à derrapagem ($VRD \geq 55$). Deste modo, classifica-se o segmento monitorado com microtextura rugosa.

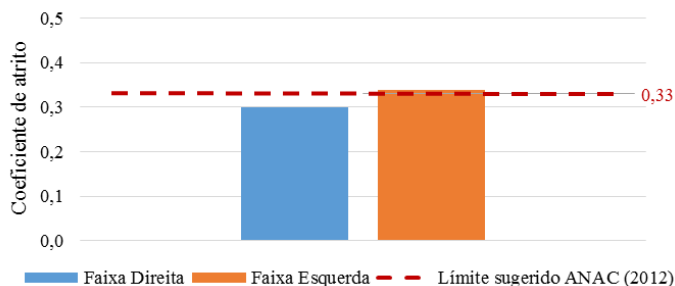
Figura 4.103 – Valores de microtextura (2014).



Fonte: Elaboração própria.

Em relação à resistência à derrapagem, a Figura 4.104 apresenta o coeficiente de atrito do segmento monitorado medido com o *Grip Tester* no ano 2014 pela COPPETEC/UFRJ.

Figura 4.104 – Valores de microtextura obtidos com o *Grip Tester* (2014).



Fonte: Adaptado Ferreira(2016).

De acordo como a Figura 4.104, nota-se que há uma diferença de resultados em função da faixa de rolamento, análogo ao observado nos valores de microtextura anterior. Os resultados do coeficiente de atrito apontam que no sentido Garuva-Itapoá a superfície do pavimento está próximo ao nível de manutenção, conforme aos limites sugeridos pela ANAC (2012).

4.5.3.2 Análise estrutural

a) Evolução de deflexões

A análise da evolução de deflexões está baseada nos levantamentos deflectométricos efetuados em dezembro 2011 (ano zero) e em março de 2014 (cerca de 2 anos após abertura ao tráfego), realizadas com viga Benkelman e o equipamento FDW, respectivamente. Os resultados das medidas de deflexão encontram-se no Anexo B.3.1.

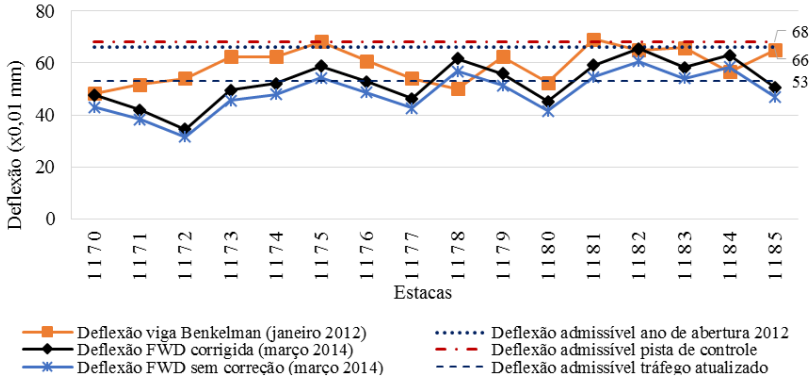
Dado que os levantamentos realizados usaram equipamentos diferentes, teve-se a necessidade de recorrer a correlações entre as deflexões características medidas com a viga Benkelman e com o FWD. O tipo de correlação utilizado é análogo ao procedimento já explicado para os segmentos monitorados de Urubici.

Para comparar as deflexões medida, determinou-se a deflexão admissível (D_{adm}), calculada pela Equação (2.2) do método de dimensionamento de pavimentos TECNAPAV, tendo-se em conta o $N_{8,2tf}$ para abertura ao tráfego projetado no ano 2012 e para o tráfego estimado após a contagem volumétrica do tráfego realizada no ano 2016.

As Figuras 4.105 e 4.106 apresentam a comparação das deflexões por faixa de rolamento em relação à deflexão característica admissível,

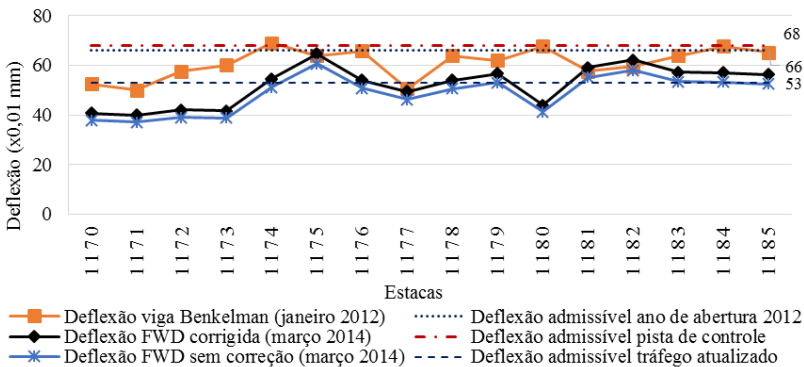
determinada na pista de controle executada antes do início da obra, a deflexão admissível projetada no ano 2012 e a deflexão admissível para o tráfego estimado de $N_{8,2tf}=3,7 \times 10^7$.

Figura 4.105 – Comparação de deflexões no revestimento faixa direita.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 4.106 – Comparação de deflexões do revestimento faixa esquerda.



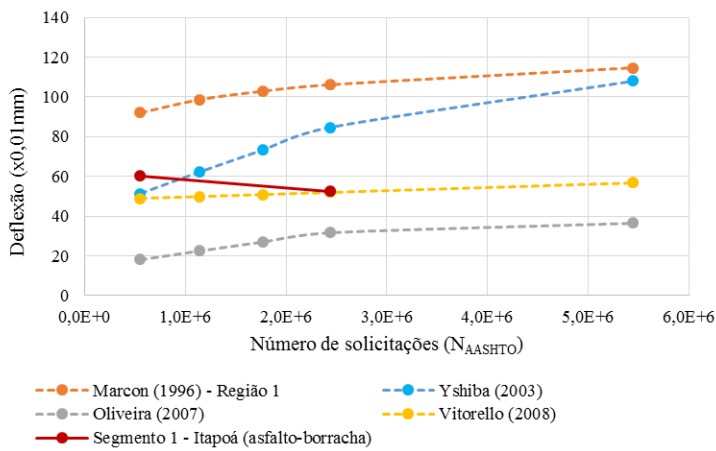
Fonte: Elaboração própria.

Comparando-se as deflexões medidas com a deflexão admissível da pista de controle ($D_{adm}=68 \times 10^{-2} \text{ mm}$), observa-se que nas duas faixas de rolamento existem alguns pontos que se encontram acima deste valor, sendo que o 10% das medidas de deflexão levantadas no ano 2011 ficaram acima do valor admissível. No ano de 2014 todas as medidas de deflexão ficaram abaixo desta medida, possivelmente, por consequência da pós compactação das camadas do pavimento pela ação do tráfego. No entanto, considerando a deflexão admissível para o tráfego atualizado de

$N_{8,2tr}=3,7\times10^7$, mais de 40% das deflexões medidas no ano 2014 ficaram acima deste valor.

A Figura 4.107 apresenta a evolução da deflexão média em função dos modelos de desempenho já referenciados. Observa-se que o segmento monitorado de Itapoá obedece, em princípio, a um processo de pós-compactação. Entretanto, isto pode estar relacionado mais ao fato das medidas terem sido feitas com equipamento diferentes.

Figura 4.107 – Comparação da evolução da deflexão em relação dos modelos de desempenho.



Fonte: Elaboração própria.

No Quadro 4.52, consta o resumo dos valores do levantamento de deflexão do segmento monitorado.

Quadro 4.52 – Evolução da deflexão do revestimento.

Ano	2011 (VB)	2014 (FWD) C	2014 (FWD) S
Deflexão média (0,01mm)	60,2	52,4	48,6
Desvio Padrão (0,01mm)	6,4	8,2	7,8
Deflexão característica (0,01mm)	66,6	60,6	56,4
Coefficiente de variação (%)	10,7	15,7	16,0
Deflexão admissível (0,01mm)	68		

Fonte: Elaboração própria.

b) Retroanálise

Por meio da retroanálise das bacias de deformação, medidas em 2014 com o equipamento FWD, foram estimados os valores do módulo de elasticidade para cada camada do pavimento. A retroanálise foi conduzida empregando-se o *software* BAKFAA. Os resultados são apresentados no Quadro 4.53.

Quadro 4.53 – Módulos de elasticidade estimados por retroanálise.

CAMADA	Revestimento		Base		Sub-base (Rocha detonada)		Subleito	
FAIXA	Direita	Esquerda	Direita	Esquerda	Direita	Esquerda	Direita	Esquerda
Média (MPa)	5.059	6.451	375	290	132	131	127	120
SV (MPa)	1.736	1.037	85	73	19	22	17	17
Média total (MPa)	5.756		333		132		123	
SV (MPa)	1.386		79		20		17	

Fonte: Elaboração própria

Do Quadro 4.53 pode-se verificar que os módulos de elasticidade das camadas de base e sub-base, estão próximos dos valores obtidos por Fernandes (2000).

4.6 ESTIMATIVA DA VIDA ÚTIL DO PAVIMENTO

O resultado do comportamento reológico das misturas estudadas e a retroanálise das bacias de deformação foram aplicados para realizar a simulação numérica das estruturas dos pavimentos dos segmentos monitorados de Urubici e Itapoá. Através da simulação numérica, foi estimada a vida útil dos pavimentos em termos do número de repetições do eixo padrão ($N_{8,2tf}$) necessárias para levar o revestimento asfáltico ao trincamento por fadiga. A estimativa foi realizada considerando, por ora, o fator de campo-laboratório igual a 1, empregando-se as curvas de fadiga obtidas para as misturas dos segmentos monitorados.

4.6.1 Parâmetros dos materiais constituintes da estrutura dos pavimentos

Para a simulação numérica das estruturas dos pavimentos, foram determinados os parâmetros viscoelásticos das misturas analisadas e os parâmetros elásticos retroanalisados das camadas de base, sub-base e subleito da estrutura dos pavimentos.

O modelo matemático e reológico de Huet-Sayegh para cada mistura foi calibrado a partir do ensaio de módulo complexo. O valor de E_{∞} foi definido por extrapolação das medidas do módulo no espaço Black.

A calibração dos coeficientes viscoelásticos, foi feita com o auxílio do *software* Viscoanalyse. O Quadro 4.54 apresenta os resultados dos parâmetros de modelo de Huet-Sayegh para as misturas em estudo.

Quadro 4.54 – Parâmetros do modelo de Huet-Sayegh.

Parâmetros viscoelásticos	Mistura asfáltica		
	URUBICI		ITAPOÁ
	Asfalto-borracha	Convencional CAP 50/70	Asfalto-borracha
E_0 (MPa) ⁽ⁱ⁾	85,6935	174,3960	87,0999
E_{∞} (MPa) ⁽ⁱⁱ⁾	25046	30814	19711
δ ⁽ⁱⁱⁱ⁾	2,13498	0,06947	1,93954
k ^(iv)	0,21981	0,74826	0,22629
h ^(iv)	0,57812	0,27414	0,55983
τ ^(v)	0,01094	0,00061	0,00413
A_0 ^(vi)	3,024720	0,790074	1,344410
A_1 ^(vi)	-0,451088	-0,501191	-0,402462
A_2 ^(vi)	0,0036318	0,0045479	0,0029817

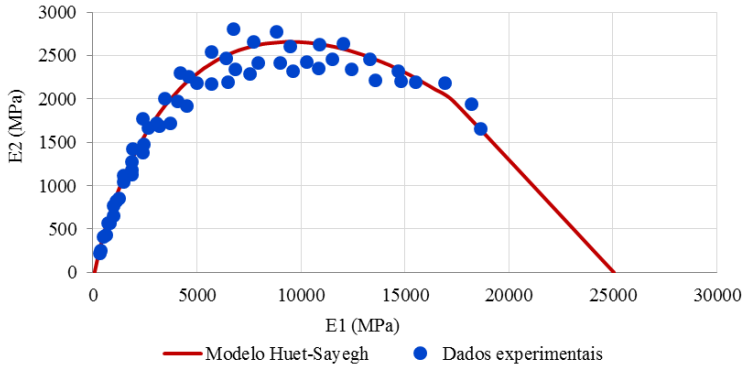
Observações referentes ao Quadro 4.54:

- (i) E_0 = módulo estático, para as situações de baixas frequências e de elevadas temperaturas;
- (ii) E_{∞} = módulo instantâneo do modelo, obtido quando $\omega\tau$ tende ao infinito, assim como para as elevadas frequências e para as baixas temperaturas;
- (iii) δ = constante adimensional, função da natureza do ligante e da curva granulométrica;
- (iv) k , h = parâmetros dos elementos parabólicos do modelo, que, para as misturas asfálticas, estão situados nos intervalos entre $0 < k < h < 1$;
- (v) τ = tempo de relaxação dos amortecedores, o qual é um parâmetro em função do tempo e que se assemelha a um tempo de retardo, variando em função da temperatura;
- (vi) A_0 , A_1 , A_2 = parâmetros escalares.

Fonte: Elaboração própria.

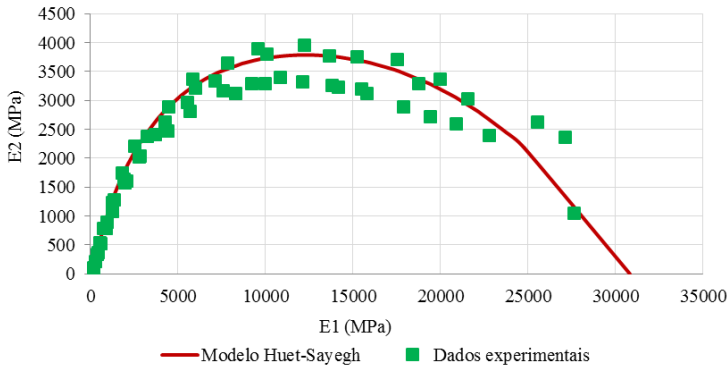
As Figuras 4.108, 4.109 e 4.110 apresentam o modelo de Huet-Sayegh para a mistura asfalto-borracha, convencional CAP 50/70 (segmentos de Urubici) e mistura asfalto-borracha (segmento de Itapoá), respectivamente.

Figura 4.108 – Representação da mistura asfalto-borracha do segmento monitorado de Urubici no modelo Huet-Sayegh.



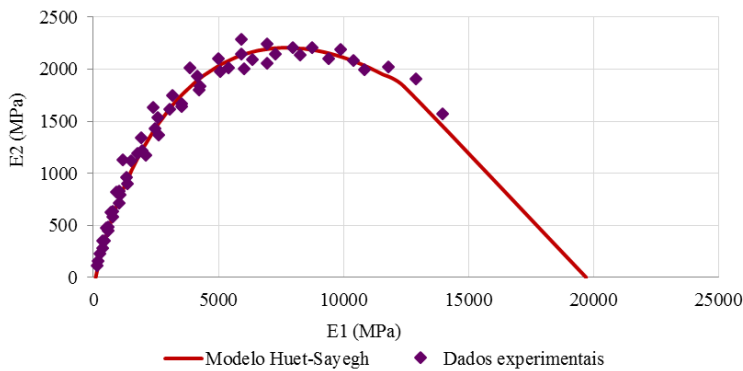
Fonte: Elaboração própria

Figura 4.109 – Representação da mistura convencional CAP 50/70 do segmento monitorado de Urubici no modelo Huet-Sayegh.



Fonte: Elaboração própria

Figura 4.110 – Representação da mistura asfalto-borracha do segmento monitorado de Itapoá no modelo Huet-Sayegh.



Fonte: Elaboração própria

O Quadro 4.55 resume as características elásticas das estruturas dos pavimentos dos segmentos em estudo.

Quadro 4.55 – Módulos estimados das camadas elásticas da estrutura do pavimento dos segmentos monitorados de Urubici e Itapoá.

Parâmetro elástico		Módulo de elasticidade E (MPa)				
Segmento monitorado		Tipo de ligante	Revestimento	Base de brita graduada	Sub-base de macadame seco	Subleito
URUBICI	1	Asfalto-borracha	4.955	554	271	173
	2	Asfalto-borracha	5.293	412	223	170
	3	Convencional CAP (50/70)	7.483	610	279	178
ITAPOÁ	1	Asfalto-borracha	5.756	333	132 ⁽ⁱ⁾	124

Observações referentes ao Quadro 4.55:
(i) Camada de sub-base de rocha detonada.
Fonte: Elaboração própria

4.6.2 Simulação numérica com software AEMC-Sispav

Para a simulação da estrutura utilizou-se o software AEMC/Sispav que considera a análise elástica de múltiplas camadas. Na modelação foram considerados os valores de módulo de resiliência obtidos através da retroanálise (Quadro 4.55), carregamento de eixo simples de roda

dupla de 8,2t e pressão de contato de 5,6kgf/cm². Os coeficientes de Poisson adotados foram os mesmos aos utilizados na retroanálise, expostos no Quadro 3.8.

Na simulação considerou-se a não aderência entre as camadas, dado que as camadas da estrutura do pavimento trabalham de forma individual.

A avaliação mecânica da estrutura do pavimento em conjunto com os modelos de fadiga obtidos na pesquisa, permitiram fazer a previsão da vida útil do revestimento asfáltico quanto à ruptura por fadiga. O Quadro 4.56 apresenta a estimativa da vida útil do revestimento asfáltico, em termos de sollicitação de eixo padrão ($N_{8,2tf}$), para a mistura asfáltica dos segmentos monitorados de Urubici e Itapoá.

Quadro 4.56 – Estimativa de vida útil da camada de revestimento asfáltico dos segmentos monitorados de Urubici e Itapoá - análise elástica linear.

Parâmetro			Equação fadiga	ϵ_t (µm/m)	$N_{8,2tf}$
Mistura asfáltica	URUBICI (Laboratório)	Asfalto-borracha (Segmento 1)	$N=1,643 \times 10^{19} \epsilon_t^{-5,529}$	119,36	5,42E+07
		Asfalto-borracha (Segmento 2)		142,47	2,04E+07
		Convencional CAP 50/70 (Segmento 3)	$N=1,987 \times 10^{15} \epsilon_t^{-4,353}$	99,40	4,01E+06
	URUBICI (Campo)	Asfalto-borracha (Segmento 1)	$N=5,882 \times 10^{18} \epsilon_t^{-5,972}$	119,36	2,33E+06
		Asfalto-borracha (Segmento 2)		142,27	8,17E+05
	ITAPOÁ (Laboratório)	Asfalto-borracha (Segmento 1)	$N=5,329 \times 10^{22} \epsilon_t^{-7,200}$	162,22	6,52E+06

Fonte: Elaboração própria

Com base nas deformações de tração alcançadas na simulação numérica no software AEMC-Sispav e nos modelos de fadiga obtidos em laboratório e campo, conduziu-se à estimativa da vida dos segmentos monitorados de Urubici. Segundo os modelos de fadiga de laboratório, todos os segmentos monitorados ultrapassam amplamente o número de

solicitações de eixo padrão ($N_{8,2tf}$) para o período de projeto previsto para o ano 2021 ($N_{8,2tf} = 1,77 \times 10^6$).

No entanto, aplicando-se o modelo de fadiga obtido com os corpos de prova extraídos em campo (mistura asfalto-borracha) observa-se que há uma acentuada queda na estimativa da vida útil dos segmentos monitorados em relação à estimativa feita com o modelo de fadiga obtido com corpos de prova moldados em laboratório. Isto pode ser um alerta em relação às estimativas de vida útil feitas a partir de modelos obtidos em laboratório. O monitoramento dos segmentos poderá propiciar a calibração destas estimativas.

Em relação ao segmento monitorado de Itapoá, segundo a simulação numérica e o modelo de fadiga obtido em laboratório, a estrutura do pavimento do segmento de Itapoá não atenderia o tráfego estimado ($N_{8,2tf} = 3,90 \times 10^7$). Comparando o estudo de tráfego da seção 4.5.1.2 e a estimativa da vida útil, a estrutura teria atingido o final da sua vida útil no início do ano 2016 ($N_{8,2tf} = 6,85 \times 10^6$). Considerando-se que a porcentagem de área trincada em fevereiro de 2016 é de 12,4%, em relação à área total da pista de rolamento, e de 18,1% considerando apenas a superfície de trilha de roda, pode-se afirmar que haveria uma coerência muito boa entre a estimativa da vida útil feita pela simulação numérica, o modelo de fadiga e as condições da superfície do pavimento.

4.6.3 Simulação numérica com o software ViscoRoute 2,0

Para a modelização da estrutura do pavimento foi utilizado o software ViscoRoute 2,0, que leva em consideração no cálculo da deformação específica de tração no revestimento, os parâmetros do modelo reológico Huet-Sayegh sobre o comportamento viscoelástico da mistura asfáltica.

A simulação numérica foi realizada atendendo os seguintes aspectos:

- configuração das estruturas do pavimento baseada nas Figuras 4.3, 4.4, 4.5 e 4.8;
- módulos estimados das camadas elásticas expostos no Quadro 4.55 (camadas granulares) e parâmetros reológicos do modelo de Huet-Sayegh (para o revestimento asfáltico) mostrados no Quadro 4.54;
- coeficiente de Poisson adotado para cada camada, conforme o Quadro 3.8.

- frequência de carregamento de 10Hz, correspondente a uma velocidade constante de 72km/h (20m/s);
- temperatura do revestimento asfáltico em 20°C;
- carregamento dinâmico de um eixo simples de roda dupla de 8,2t, com distância entre rodas de 32cm;
- carga por roda (Q) de 2050kgf, com área circular de contato entre pneu-pavimento (raio de 10,8cm); e,
- pressão de contato de 5,6kgf/cm²;

Os resultados da estimativa da vida útil dos segmentos em estudo são apresentados no Quadro 4.57, em termos de sollicitação equivalente de eixo padrão ($N_{8,2tf}$), considerando-se, por ora, um fator de campo laboratório igual a 1.

Quadro 4.57 – Estimativa de vida útil da camada de revestimento asfáltico dos segmentos monitorados de Urubici e Itapoá - análise viscoelástica.

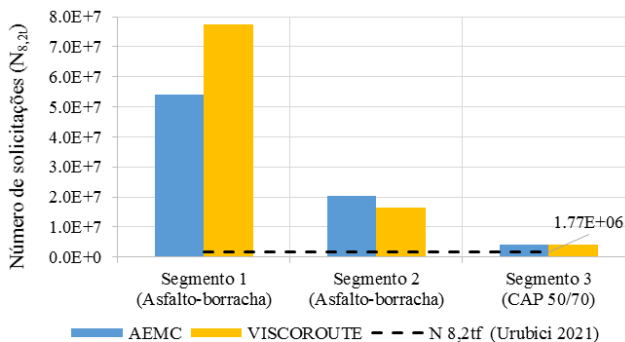
Parâmetro			Equação fadiga	ϵ_t (µm/m)	$N_{8,2tf}$
Mistura asfáltica	URUBICI (Laboratório)	Asfalto-borracha (Segmento 1)	$N=1,643 \times 10^{19} \epsilon_t^{-5,529}$	111,89	7,74E+07
		Asfalto-borracha (Segmento 2)		148,25	1,63E+07
		Convencional CAP 50/70 (Segmento 3)	$N=1,987 \times 10^{15} \epsilon_t^{-4,353}$	99,04	4,07E+06
	ITAPOÁ (Laboratório)	Asfalto-borracha (Segmento 1)	$N=5,329 \times 10^{22} \epsilon_t^{-7,200}$	157,32	8,13E+06

Fonte: Elaboração própria

As deformações de tração alcançadas na simulação numérica no *software* ViscoRoute apresentam variações decorrentes dos valores de módulos de elasticidade utilizados (Figuras 4.111 e Figura 4.112). No *software* AEMC-Sispav utilizou-se os valores de módulo de resiliência obtidos através da retroanálise. No entanto, no *software* ViscoRoute, se utilizaram módulos obtidos por retroanálise (camadas granulares e subleito) e os parâmetros reológicos, do modelo de Huet-Sayegh, para a camada de revestimento asfáltico. A diferença entre o módulo elástico

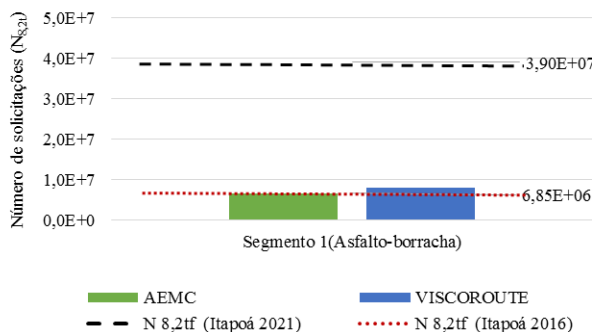
linear e viscoelástico da camada de revestimento é, em média, de 480MPa.

Figura 4.111 – Estimativa da vida útil dos segmentos monitorados de Urubici considerando a análise elástica linear e viscoelástica.



Fonte: Elaboração própria

Figura 4.112 – Comparação da estimativa da vida útil do segmento monitorado de Itapoá, considerando a análise elástica linear e viscoelástica.



Fonte: Elaboração própria

De acordo com os resultados obtidos verifica-se que a simulação numérica com os dois softwares empregados leva a uma estimativa da vida útil da mesma ordem de grandeza, porém com diferenças que podem variar até em 30%.

Na estimativa da vida útil do pavimento não foram consideradas nem as variações térmicas nem o envelhecimento no revestimento asfáltico. A continuidade do acompanhamento do desempenho dos segmentos monitorados ajudará a definir a menor aproximação entre a simulação numérica e a condição do revestimento em campo.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A presente pesquisa realizou a avaliação do desempenho de pavimentos flexíveis de três segmentos monitorados inseridos na SC-370 do município de Urubici e um segmento inserido na SC-416 do município Itapoá. Após a medição temporal das condições do pavimento e ensaios de laboratório para a análise das propriedades mecânicas do revestimento de concreto asfáltico dos segmentos em estudo, foi possível chegar as seguintes conclusões:

Da análise funcional

Segmentos monitorados de Urubici

- O segmento monitorado 1 de Urubici apresentou uma maior evolução de defeitos tipo FC-1, FC-2, em relação aos segmentos 2 e 3, sendo que estes segmentos só registraram trincas no levantamento efetuado no ano 2016. Analisando a evolução de defeitos, o trincamento no segmento 1 de Urubici representa apenas o 0,23% da área total da pista de rolamento e 0,31% da área que considera somente a superfície de trilha de roda na pista, denotando o bom estado superficial do segmento de referência.
- Em relação ao afundamento de roda, os segmentos monitorados de Urubici, o 60% das medidas estão no intervalo de $2\text{mm} \leq \text{ATR} < 4\text{mm}$. No entanto, observou-se no ano 2016 que algumas medidas de afundamento e trilha de roda atingiram o intervalo $4\text{mm} \leq \text{ATR} < 7\text{mm}$.
- Segundo o índice de gravidade global (IGG) os segmentos monitorados de Urubici são classificados como ótimos.
- Segundo a avaliação da irregularidade longitudinal (IRI), os segmentos monitorados encontram-se abaixo do limite de aceitabilidade estabelecida pela ARTESP (2014), $\text{IRI} \leq 2,69\text{m/km}$, classificadas com conceito bom.
- Em relação aos valores de macrotextura, todos os segmentos monitorados ficaram abaixo do limite recomendado pelo DNIT (BRASIL, 2006c), sendo os resultados insatisfatórios. Em relação aos valores de microtextura, os segmentos se classificaram como insuficientemente rugosa a medianamente rugosa. Os resultados

indicam que seria recomendado a avaliação da adoção de uma intervenção para melhorar a aderência pneu/pavimento.

Segmento monitorado de Itapoá

- O segmento de Itapoá apresentou uma elevada porcentagem de defeitos tipo FC-1, e em menor magnitude, o tipo FC-2, FC-3 e desagregação com bombeamento de finos. A área trincada atingida até o ano 2016 é de 260,5m², o que representa o 12,4% da área total da pista de rolamento e 18,1% da área que considera somente a superfície de trilha de roda na pista. Esta situação pode estar relacionada com a alta demanda de tráfego desta via, conforme a contagem de tráfego realizada em março de 2016.
- Em relação ao afundamento de roda, o intervalo $4\text{mm} \leq \text{ATR} < 7\text{mm}$ apresentou uma predominância de mais de 40% o ano 2016. Neste mesmo ano, constata-se a presença de afundamentos de trilha de roda no intervalo de $\text{ATR} \geq 7\text{mm}$, superando o limite recomendado pela ARTESP (2014).
- Segundo o IGG, o segmento monitorado de Itapoá encontra-se classificado como regular.
- Segundo a avaliação da irregularidade longitudinal (IRI), o segmento é classificado com conceito regular, dentro do limite de aceitabilidade estabelecida pela ARTESP(2014), $\text{IRI} \leq 2,69\text{m/km}$.
- Em relação aos valores de macrotextura, o segmento ficou abaixo do limite recomendado pelo DNIT (BRASIL, 2006c) classificando-o como insatisfatório, enquanto que a microtextura, o segmento apresentou resultados satisfatórios, classificando-se como rugosa.

Da análise estrutural

- Observou-se que as deflexões iniciais medidas nos segmentos monitorados de Urubici e Itapoá, apresentaram uma redução do seu valor entre o ano 2012 e 2014. Tal comportamento pode ser, em parte, decorrente da pós-compactação das camadas do pavimento pela ação do tráfego e em parte decorrente da diferença dos equipamentos empregados na medição. Até o ano 2014, os segmentos monitorados de Urubici e Itapoá, não superaram o valor

da deflexão máxima admissível, indicando que a capacidade estrutural atende ao tráfego projetado.

- A partir da contagem de tráfego, observou-se, que o $N_{8,2tf}$ atualizado para o período de projeto dos segmentos de Urubici apresentou uma diminuição de 26,9% em relação ao tráfego projetado no ano 2012. O segmento de Itapoá apresentou um aumento de 2,36 vezes o tráfego projetado no ano 2012.
- O ensaio de deformação permanente de placas extraídas de campo e moldadas em laboratório, verificaram o similar comportamento das misturas ensaiadas em laboratório e campo. A mistura com asfalto convencional CAP 50/70 apresentou um pior desempenho em relação à mistura asfalto-borracha, verificando-se a maior susceptibilidade destas misturas em relação à deformação permanente.
- Segundo os modelos de fadiga de laboratório, todos os segmentos monitorados de Urubici ultrapassam amplamente o número de solicitações de eixo padrão ($N_{8,2tf}$) para o período de projeto previsto para o ano 2021. No entanto, baseados no modelos de fadiga dos corpos de prova extraídos em campo, somente o segmento monitorado 1 atenderá o tráfego atual previsto para o período de projeto atual.
- Entretanto, há que se destacar a grande coerência dos resultados obtidos na simulação numérica com os dois softwares com os dados de laboratório e campo e as condições de superfície do revestimento para o segmento monitorado de Itapoá.

De acordo com a atualização do estudo de tráfego, até o 2016 o tráfego atuante seria de $6,85 \times 10^6$ e o tráfego previsto em projeto (igual a $1,16 \times 10^7$) seria alcançado em 2017, ao invés de 2021.

Segundo a simulação numérica, pelo *software* SisPav a estimativa da vida útil do pavimento seria de $6,5 \times 10^6$ e pelo *software* ViscoRoute, ela seria de $8,13 \times 10^6$. De acordo com o levantamento da área trincada (incluindo trincas do tipo FC1) em março de 2016, a porcentagem da área trincada era de 12,1% (considerando-se toda a área da superfície do segmento, e de 18,1% (considerando-se somente a área das trilhas de roda).

Assim, analisando-se o conjunto de resultados, pode-se dizer que há uma grande aproximação entre as estimativas feitas através do

procedimento adotado de caracterização dos materiais em laboratório, a simulação numérica e o desempenho do segmento monitorado em campo. Para o segmento de Itapoá, haveria então, uma tendência do fator campo laboratório se aproximar de 1.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base no estudo e resultados da pesquisa recomenda-se dar continuidade no monitoramento dos segmentos de Urubici e Itapoá para aumentar a quantidade de dados obtidos para estes segmentos e, assim, propor modelos de previsão de desempenho como também a estimava do fator campo-laboratório.

Para futuras pesquisas recomenda-se aprofundar na aplicação da lei de Miner, a variação térmica e o envelhecimento do asfalto

REFERÊNCIAS

ABNT. **ABNT NBR 15617 - Determinação do dano por umidade induzida**. Brasil Associação Brasileira de Normas Técnicas 2015.

ACATE. **Agronegócio & tecnologia Santa Catarina-anuário 2015**. Associação Catarinense de Empresas de Tecnologia. Santa Catarina, Brasil. 2015

AFNOR. **AFNOR NF P 98-253-1: Déformation permanente des mélanges hydrocarbonés, partie 1: essai d'orniérage**. França: Association Française de Normalisation 1991a.

_____. **AFNOR NF P 98-250-2: Essais relatifs aux chaussées-préparation des mélanges hydrocarbonés, partie 2: compactage des plaques**. França, 1991b.

ANAC. **Resolução Nº 236, Requisitos de operação aeroportuária**. Brasil Agência Nacional de Aviação Civil 2012.

ARTESP. Anexo 06 - Serviços correspondentes às funções de conservação. São Paulo, Brasil, 2014. Disponível em: <
http://www.artesp.sp.gov.br/Media/Default/Rodovias/pppTamoios/06%20-%20Servi%C3%A7os%20Correspondentes%20as%20Fun%C3%A7%C3%B5es%20de%20Conserva%C3%A7%C3%A3o%20_Final_.pdf>. Acesso em: 10 Junho 2015.

ASTM. **ASTM E950-04: Standard test method for mesuaring the longitudinal profile of traveled surfaces with an acelerometer establiced** USA: American Society of Testing and Materials 2004.

_____. **ASTM E 965: Standard test method for measuring pavement macrotexture depth using a volumetric technique**. USA: American Society of Testing and Materials 2006.

_____. **ASTM E867-06: Standard terminology relating to vehicle pavement systems**. USA: American Society of Testing and Materials 2012.

_____. **ASTM E 303-93: Standard test method for measuring surface frictional properties using the British Pendulum tester**. USA: American Society of Testing and Materials 2013a.

_____. **ASTM E 1823-3: Standard terminology relating to fatigue and fracture testing.** USA: American Society of Testing and Materials 2013b.

_____. **ASTM E1844-08: Standard specification for A size 10x4-5 smooth-tread friction test tire.** USA: American Society of Testing and Materials 2015.

BAAJ, H. **Comportement a la fatigue des matériaux granulaires traités aux liants hydrocarbonés.** 2002. Thèse Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, France.

BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração.** São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BARELLA, R. M. **Contribuição para a avaliação da irregularidade longitudinal de pavimentos com perfilômetros inerciais** 2008. Tese Doutorado Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo USP, São Paulo, Brasil.

BASÍLIO, R. **Análise do comportamento de pavimentos de rodovias estaduais de Goiás-Estudo de caso** 2002. Dissertação de Mestrado Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

BENEDETTO, H. D. et al. Fatigue of bituminous mixtures. **RILEM**, 2004.

BERNUCCI, L. B. et al. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros.** Rio de Janeiro, Brasil: Petrobras, 2008.

BORGES, C. B. S. **Estudo comparativo entre medidas de deflexão com viga Benkelman e FWD em pavimentos da malha rodoviária estadual de Santa Catarina.** 2001. Dissertação de Mestrado Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

BRASIL. **NORMA DNIT 005/2003 - TER: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos** Rio de Janeiro, Brasil: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de planejamento e pesquisa. Coordenação geral de estudos e pesquisa. Instituto de pesquisas rodoviárias. 2003a.

_____. **NORMA DNIT 006/2003 - PRO: Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos** Rio de Janeiro, Brasil:

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de planejamento e pesquisa. Coordenação geral de estudos e pesquisa. Instituto de pesquisas rodoviárias. 2003b.

_____. **NORMA DNIT 009/2003 - PRO: Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos** Rio de Janeiro, Brasil: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de planejamento e pesquisa. Coordenação geral de estudos e pesquisa. Instituto de pesquisas rodoviárias. 2003c.

_____. **Manual de estudos de tráfego.** Rio de Janeiro, Brasil Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2006a.

_____. **Manual de pavimentação.** Rio de Janeiro, Brasil Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2006b.

_____. **Manual de restauração de pavimentos asfálticos.** Rio de Janeiro, Brasil: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias 2006c.

_____. **NORMA DNIT 112/2009 - ES: Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico com asfalto-borracha, via úmida, do tipo "Terminal Blending"- Especificação de serviço.** Rio de Janeiro, Brasil: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 2009.

_____. **NORMA DNIT 134/2010 - ME: Pavimentação - Solos - Determinação do módulo de resiliência - Método de ensaio.** Rio de Janeiro, Brasil: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 2010a.

_____. **NORMA DNIT 135/2010 - ME: Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas - Determinação do módulo de resiliência - Método de ensaio.** Rio de Janeiro, Brasil: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 2010b.

_____. **NORMA DNIT 136/2010 - ME: Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas - Determinação da resistência à tração por compressão diametral - Método de ensaio.** Rio de Janeiro, Brasil: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 2010c.

CLYNE, T. R. et al. **Dynamic and resilient modulus of MN/DOT asphalt mixtures.** Department of Civil Engineering, University of Minnesota. Minnesota, U.S.A. 2003

CHABOT, A. et al. **Viscoroute 2.0: a tool for the simulation of moving load effects on asphalt pavement** França: Laboratoire Central des Ponts et Chaussées 2009.

DEINFRA-SC. **NORMA DEINFRA-SC ES-P 03/15 Pavimentação: Camada de macadame seco.** Florianópolis, SC, Brasil: Departamento Estadual de Infraestrutura de Santa Catarina. 2015.

_____. **ES-P 05/16 NORMA DEINFRA-SC ES-P 05/16 Pavimentação: Camadas de misturas asfálticas usinadas a quente.** Florianópolis, SC, Brasil: Departamento Estadual de Infraestrutura de Santa Catarina. 2016a.

_____. **NORMA DEINFRA-SC ES-P 01/16 Pavimentação: Regularização do subleito.** Florianópolis, SC, Brasil: Departamento Estadual de Infraestrutura de Santa Catarina. 2016b.

_____. **NORMA DEINFRA-SC ES-P 11/16 Pavimentação: Camadas de brita graduada.** Florianópolis, SC, Brasil: Departamento Estadual de Infraestrutura de Santa Catarina. 2016c.

DER. **DER - IP-DE-P00/003: Avaliação funcional e estrutural de pavimentos.** São Paulo, Brasil: Departamento de Estradas de Rodagem. 2006.

DNER. **DER-ME 024/94: Pavimento - determinação das deflexões pela viga Benkelman.** Rio de Janeiro, Brasil: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. 1994a.

_____. **DNER-PRO 182/94 : Medição da irregularidade de superfície de pavimento com sistemas integradores IPR/USP e maymeter.** Rio de Janeiro, Brasil: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. 1994b.

_____. **DNER-PRO 273/96: Determinação de deflexões utilizando defletômetro de impacto tipo "Falling Weight Deflectometer (FWD)".** Rio de Janeiro, Brasil: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. 1996.

_____. **Manual de reabilitação de pavimentos asfálticos.** Rio de Janeiro, Brasil: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1998.

DYNATEST. Dynatest produtos, Grip Tester São Paulo, Brasil 2016.
Disponível em: <
<http://www.dynatest.com.br/produto.asp?produtoAtivo=22> >. Acesso em: 10/09/2016.

EN. **EN 12697-24: Bituminous mixtures - test methods for hot mix asphalt, part 24: Resistance to fatigue.** Brussels, Bélgica: European Standard 2004a.

_____. **EN 12697-26: Bituminous mixtures - test methods for hot mix asphalt, part 26: Stiffness.** Brussels, Bélgica: European Standard 2004b.

ENGEVIX. **Supervisão de assistência e de subsídios à fiscalização de obras rodoviárias, trecho: Urubici-Grão Pará.** Engenvix Engenharia S/A. Santa Catarina, Brasil. 2012

FERNANDES, Y. S. **Contribuição à caracterização do comportamento mecânico da camada de brita graduada "in situ".** 2000. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

FERREIRA, J. C. **Estudo e avaliação de influência da macrotextura e microtexturana na aderência pneu-pavimento.** 2016. Dissertação de mestrado Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

FERREIRA, P. N. **Avaliação da macrotextura de trechos pavimentados de rodovias estaduais situadas na região insular do município de Florianópolis.** 2002. Dissertação de Mestrado Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

FONTES, L. P. T. D. L. **Optimização do desempenho de misturas betuminosas com betume modificado com borracha para reabilitação**

de pavimentos. 2009. Tese de Doutorado Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Portugal. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, Brasil.

GONÇALVES, F. P. **O desempenho dos pavimentos flexíveis.** . Porto Alegre, RS, Brasil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul 1999.

HAAS, R.; HUDSON, W. R.; FALLS, L. C. **Pavement Asset Management** Massachusetts: Scrivener Publishing 2015.

HARRIGAN, E. T. et al. **Fatigue response of asphalt-aggregate mixes.** Institute of Transportation Studies University of California. Washington, D.C., U.S.A. 1994

HORTIFRUTI; CEPEA. **Números da maçã em 2015 Nº 152.** 2016. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

ITAPOÁ, D. D. Movimento no Porto de Itapoá foi afetada em 60% com greve dos caminhoneiros. Brasil 2015. Disponível em: <
<http://www.diariodeitapoa.com.br/porto-itapoa/4867-movimentacao-no-porto-itapoa-foi-afetada-em-60-com-greve-dos-caminhoneiros.html> >. Acesso em: 23/05/2016.

ITAPOÁ, P. D. Institucional. Brasil 2016. Disponível em: <
http://www.portoitapoa.com.br/noticia/Porto_Itapoa_registrou_aumento_na_movimentacao_de_carga_em_2015/497 >. Acesso em: 23/05/2016.

JÚNIOR, G. P. S. **Estudo do comportamento de estruturas de pavimentos com materiais alternativos visando a redução dos custos de pavimentação no estado de Santa Catarina.** 2007. Dissertação de Mestrado Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

MARCON, A. F. **Contribuição ao desenvolvimento de um sistema de gerência de pavimentos para a malha rodoviária estadual de Santa Catarina.** 1996. Tese Doutorado Divisão de Pós-Graduação do Curso de Engenharia Aeronáutica, Instituto de Aeronáutica, São José dos Campos, SP, Brasil.

MATTOS, J. R. G. **Avaliação da aderência pneu-pavimento e tendências de desempenho para a rodovia BR-290/RS.** 2009. Programa de Pós-

Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.

_____. **Monitoramento e análise do desempenho de pavimentos flexíveis da ampliação da rodovia BR-290/RS: a implantação do Projeto Rede Temática de Asfalto no Rio Grande do Sul.** 2014. Tese de Doutorado Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.

MEDINA, J. D.; MOTTA, L. M. G. **Mecânica dos pavimentos.** 2º Edição. Rio de Janeiro, Brasil 2005.

MELO, J. V. S. D. **Desenvolvimento e estudo do comportamento reológico e desempenho mecânico de concretos asfálticos modificados com nanocompósitos.** 2014. Tese Doutorado Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

MOMM, L. **Estudo dos efeitos da granulometria sobre a macrotextura superficial do concreto asfáltico e seu comportamento mecânico.** 1998. Tese, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), São Paulo, Brasil.

MOURA, E. D. **Estudo da deformação permanente em tria de roda de misturas asfálticas em pista e em laboratório.** 2010. Tese Doutorado Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo USP, São Paulo, Brasil.

N.H.I. **Superpave fundamentals.** Federal Highway Administration U.S. : National Highway Institute, Department os Transportation 2000.

NASCIMENTO, D. M. **Análise comparativa de modelos de previsão de desempenho de pavimentos flexíveis.** 2005. Dissertação de mestrado Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil.

OLIVEIRA, A. D. **Contribuição à avaliação do desempenho dos pavimentos na região de rochas de embasamento cristalino em Santa Catarina.** 2007. Dissertação de Mestrado Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

PATERSON, W. D. O. **Road deterioration and maintenance effects: models for planning and management**. Washington, D.C., U.S.A.: The International Bank for Reconstruction and Development 1987.

PERRET, J. **Déformations des couches bitumineuses au passage d'une charge de trafic**. 2003. Thesis, École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Lausanne, France.

PINTO, S. **Estudo do comportamento à fadiga de misturas betuminosas e aplicação na avaliação estrutural de pavimentos**. 1991. Tese Doutorado Programa de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

PREUSSLER, E. S.; PINTO, S.; MEDINA, J. D. Determinação da vida de fadiga de concretos asfálticos brasileiros e aplicação no dimensionamento de reforços de pavimento. In: Anais 16ª Reunião anual da associação brasileira de pavimentação ABPv, 1981, Recife, Brasil. 1981.

PROSUL. **Revisão de projeto de engenharia rodoviária - Rodovia SC-415**. Santa Catarina, Brasil: Projetos, supervisão e planejamento Ltda. 2001.

QUEIROZ, C. A. V. D. **Performance prediction models for pavement management in Brazil**. 1981. Thesis, The University of Texas at Austin, Texas, U.S.A.

REDE. **Manual de execução de trechos monitorados** PETROBRAS. Rio de Janeiro, Brasil: Rede Temática de Tecnologia do Asfalto 2010.

ROBERTS, F. L. et al. **Hot mix asphalt materials, mixture design and construction** Maryland, U.S.A.: National asphalt pavement association research and education foundation, 1996.

SAID, S. F. **Fatigue characteristics of asphalt concrete mixtures**. Linköping, Sweden: Swedish Road and Traffic Research Institute, 1988.

SANTOS, M. S. D. **Desenvolvimento de modelos de previsão de desempenho a partir da implantação de trechos monitorados na região de Santa Maria-RS**. 2015. Dissertação Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil.

SEBRAE. **Santa Catarina em Números - Itapoá**. Santa Catarina, Brasil: Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas de Santa Catarina 2010a.

_____. **Santa Catarina em Números - Urubuci.** Santa Catarina, Brasil: Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas de Santa Catarina 2010b.

SOTEPA. **Projeto de implantação e pavimentação - Rodovia SC-439:** Sociedade Técnica de Estudos, Projetos e Assessoria Ltda. 2001.

_____. **Supervisão de assistência e de subsídios à fiscalização de obras rodoviárias, Trecho: Itapoá** Sociedade técnica de estudos, projetos e assessoria LTDA. Santa Catarina, Brasil. 2012

SOUSA, J. B.; CRAUS, J.; MONISMITH, C. L. **Summary report on permanent deformation in asphalt concrete.** Institute of Transportation Studies University of California. Washington, D.C., U.S.A. 1991

TAYLOR, T. A. **Collection and interpretation of pavement structural parameters using deflection testing.** Institute of Public Works Engineering Australasia. New Zealand. 2012

TRICHÊS, G. **Desenvolvimento de método para dimensionamento de pavimentos asfálticos. Fase I: trechos experimentais e materiais de pavimentação – UFSC.** Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, Brasil. 2014

VITORELLO, T. **Análise de desempenho de estrutura de pavimento flexível da rodovia BR-290/RS no trecho Osório - Porto Alegre.** 2008. Dissertação Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.

YSHIBA, J. K. **Modelos de previsão de desempenho: estudos de rodovias do estado do Paraná.** 2003. Tese Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil.

ZEIADA, W. **Endurance limit for HMA based on healing phenomenon using viscoelastic continuum damage analysis** 2012. Dissertation, Arizona State University, Arizona, U.S.A.

ANEXO A
SEGMENTOS MONITORADOS DE URUBICI

ANEXO A.1 Contagem de Tráfego

Quadro A.1. – Contagem volumétrica do tráfego SC-370.

Contagem volumétrica classificatória (terça feira) 02/02/16

PERÍODO (hrs)	VEÍCULOS LEVES		ÔNIBUS		CAMINHÕES			SEMI-REBOQUES					REBOQUES					MOTOS	TOTAL
	P	U	2C	3C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	+6 eixos	M	
0 - 1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
1 - 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 - 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 - 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 - 5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
5 - 6	9	7	1	0	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	26
6 - 7	30	16	1	0	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	66
7 - 8	69	21	1	0	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	118
8 - 9	104	51	0	0	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	186
9 - 10	109	53	0	0	12	6	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	26	209
10 - 11	127	43	1	0	11	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	28	214
11 - 12	113	53	1	0	9	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	230
12 - 13	104	35	0	0	5	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	28	178
13 - 14	130	37	0	0	13	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33	220
14 - 15	127	60	0	0	16	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27	233
15 - 16	151	44	3	0	18	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	246
16 - 17	139	69	0	0	14	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39	269
17 - 18	162	58	0	0	14	7	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	40	285
18 - 19	172	50	2	0	13	8	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	34	281
19 - 20	129	30	0	0	11	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	15	189
20 - 21	102	28	1	0	8	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	16	159
21 - 22	77	24	0	0	6	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	10	120
22 - 23	46	13	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	71
23 - 24	17	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	26
subtotal	1920	699	11	0	170	82	0	0	14	2	0	1	0	0	0	0	0	433	3332
	2619		11		170		82	0	17									433	

Fonte: Elaboração própria.

Quadro A.2 – Contagem volumétrica do tráfego SC-370.

Contagem volumétrica classificatória (quarta feira) 03/03/2016

PERÍODO (hrs)	VEÍCULOS LEVES		ÔNIBUS		CAMINHÕES			SEMI-REBOQUES					REBOQUES					MOTOS	TOTAL
	P	U	2C	3C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	+6 eixos	M	
0 - 1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1 - 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 - 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 - 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 - 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5 - 6	7	3	0	0	3	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	18
6 - 7	26	14	0	0	5	5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	7	58
7 - 8	44	16	0	0	10	6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	17	94
8 - 9	47	27	0	0	6	5	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	19	108
9 - 10	64	32	0	0	10	7	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	18	132
10 - 11	84	33	1	0	9	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	147
11 - 12	97	39	0	0	9	5	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	13	165
12 - 13	83	37	0	0	7	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	152
13 - 14	84	28	0	0	8	6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	17	144
14 - 15	88	26	0	0	9	6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	23	153
15 - 16	96	43	1	0	16	6	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	19	183
16 - 17	75	31	0	0	12	6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	13	138
17 - 18	123	36	1	0	9	7	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	32	209
18 - 19	146	34	0	0	7	9	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	33	231
19 - 20	135	43	1	0	9	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46	242
20 - 21	103	43	0	0	12	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	28	190
21 - 22	75	30	0	0	7	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	18	135
22 - 23	32	12	0	0	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	61
23 - 24	16	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	22
TOTAL	1426	531	4	0	151	98	0	1	18	0	0	1	0	0	0	0	0	353	2583
	1957		4		151	98	0	20										353	

Fonte: Elaboração própria.

Quadro A.3 – Contagem volumétrica do tráfego SC-370.

Contagem volumétrica classificatória (quinta-feira) 04/03/2016

PERÍODO (hrs)	VEÍCULOS LEVES		ÔNIBUS		CAMINHÕES			SEMI-REBOQUES					REBOQUES					MOTOS	TOTAL
	P	U	2C	3C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	+6 eixos	M	
0 - 1	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
1 - 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 - 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 - 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 - 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5 - 6	7	4	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	16
6 - 7	26	8	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	52
7 - 8	80	23	1	0	11	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	139
8 - 9	115	57	0	0	9	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	216
9 - 10	147	63	1	0	12	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	247
10 - 11	157	59	1	0	15	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	275
11 - 12	192	56	1	0	15	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33	300
12 - 13	182	45	0	0	13	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	275
13 - 14	182	44	0	0	8	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	290
14 - 15	175	64	0	0	9	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	51	306
15 - 16	149	55	1	0	13	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41	263
16 - 17	163	47	0	0	12	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	256
17 - 18	148	50	0	0	11	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	238
18 - 19	92	26	1	0	7	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	143
19 - 20	68	22	1	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	114
20 - 21	49	14	0	0	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	78
21 - 22	28	8	0	0	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	53
22 - 23	23	6	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	38
23 - 24	16	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	22
TOTAL	2002	656	7	0	156	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	435	3326
	2658		7		156	70	0	0										435	

Fonte: Elaboração própria.

ANEXO A.2 Avaliação Funcional

A.2.1 Levantamento de defeitos

Quadro A.4 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2012 - segmento monitorado 1 – Faixa Direita.

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																									
RODOVIA: SC-370 URUBICI										OPERADOR: Laboratório de Pavimentação da UFSC															
TRECHO: Segmento Monitorado 1										REVESTIMENTO TIPO: Asfalto-borracha e= 4cm/ massa fina e= 2cm.															
DATA: Agosto/2012										ESTACA INICIAL 450+00					ESTACA FINAL 465+00					FAIXA Direita					
Estaca	Seção Terrap	OK	TRINCAS										AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFETOS						TRL RODA		Observação
			ISOLADAS							INTERLIGADAS			PLÁSTICO		CONS.		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI (mm)	TRE (mm)	
			FC-1							FC-2		FC-3	ALP 4	ATP 4	ALC 4	ATC 4									
			FI 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	J 2	TB 2	JE 3	TBE 3													
450+00		x																						0	
451+00		x																						0	
452+00		x																						0	
453+00		x																						0	
454+00		x																						0	
455+00		x																						0	
456+00		x																						1	
457+00		x																						0	
458+00		x																						0	
459+00		x																						0	
460+00		x																						0	
461+00		x																						0	
462+00		x																						0	
463+00		x																						1	
464+00		x																						0	
465+00		x																						1	

Fonte: Elaboração própria.

Quadro A.5 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2012 - segmento monitorado 1 – Faixa Esquerda.

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																									
RODOVIA: SC-370 URUBICI							OPERADOR: Laboratório de Pavimentação da UFSC																		
TRECHO: Segmento Monitorado 1							REVESTIMENTO TIPO: Asfalto-borracha e= 4cm/ massa fina e= 2cm.																		
DATA: Agosto/2012							ESTACA INICIAL				465+00		ESTACA FINAL				450+00		FAIXA		Esquerda				
Estaca	Seção Terrap	OK	TRINCAS								AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRI. RODA		Observação		
			ISOLADAS						INTERLIGADAS				PLÁSTICO		CONS.		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8		TRI (mm)	TRE (mm)
			FC-1						FC-2		FC-3		ALP 4	ATP 4	ALC 4	ATC 4									
			F1 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	J 2	TB 2	JE 3	TBE 3													
465+00		x																					0		
464+00		x																					0		
463+00		x																					1		
462+00		x																					0		
461+00		x																					0		
460+00		x																					0		
459+00		x																					0		
458+00		x																					0		
457+00		x																					0		
456+00		x																					0		
455+00		x																					0		
454+00		x																					0		
453+00		x																					0		
452+00		x																					0		
451+00		x																					0		
450+00		x																					0		

Fonte: Elaboração própria.

Quadro A.6 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2012 - segmento monitorado 2 – Faixa Direita.

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																									
RODOVIA: SC-370 URUBICI					OPERADOR: Laboratório de Pavimentação da UFSC																				
TRECHO: Segmento Monitorado 2					REVESTIMENTO TIPO: Asfalto-borracha e= 6cm.																				
DATA: Agosto/2012					ESTACA INICIAL 125+00					ESTACA FINAL 140+00					FAIXA Direita										
Estaca	Seção Terrap	OK	TRINCAS										AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRL RODA		Observação
			ISOLADAS						INTERLIGADAS				PLÁSTICO		CONS.		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI (mm)	TRE (mm)	
			FC-1						FC-2		FC-3		ALP 4	ATP 4	ALC 4	ATC 4									
			F1 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	J 2	TB 2	JE 3	TBE 3													
125+00		x																						0	
126+00		x																						0	
127+00		x																						0	
128+00		x																						0	
129+00		x																						1	
130+00		x																						0	
131+00		x																						0	
132+00		x																						0	
133+00		x																						0	
134+00		x																						0	
135+00		x																						0	
136+00		x																						1	
137+00		x																						0	
138+00		x																						0	
139+00		x																						1	
140+00		x																						0	

Fonte: Elaboração própria.

Quadro A.7 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2012 - segmento monitorado 2 – Faixa Esquerda.

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																									
RODOVIA: SC-370 URUBICI												OPERADOR: Laboratório de Pavimentação da UFSC													
TRECHO: Segmento Monitorado 2												REVESTIMENTO TIPO: Asfalto-borracha e= 6cm.													
DATA: Agosto/2012												ESTACA INICIAL 140+00				ESTACA FINAL 125+00				FAIXA Esquerda					
Estaca	Seção Terrap	OK	TRINCAS										AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRI RODA		Observação
			ISOLADAS						INTERLIGADAS				PLÁSTICO		CONS.		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI (mm)	TRE (mm)	
			FC-1						FC-2		FC-3		ALP 4	ATP 4	ALC 4	ATC 4									
			F1 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	J 2	TB 2	JE 3	TBE 3													
140+00		x																						0	
139+00		x																						1	
138+00		x																						0	
137+00		x																						0	
136+00		x																						1	
135+00		x																						0	
134+00		x																						0	
133+00		x																						0	
132+00		x																						0	
131+00		x																						0	
130+00		x																						0	
129+00		x																						1	
128+00		x																						0	
127+00		x																						0	
126+00		x																						0	
125+00		x																						0	

Fonte: Elaboração própria.

Quadro A.8 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2012 - segmento monitorado 3 – Faixa Direita.

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																									
RODOVIA: SC-370 URUBICI										OPERADOR: Laboratório de Pavimentação da UFSC															
TRECHO: Segmento Monitorado 3										REVESTIMENTO TIPO: Asfalto convencional (50/70) e= 6cm															
DATA: Agosto/2012										ESTACA INICIAL 65+00				ESTACA FINAL 80+00				FAIXA Direita							
Estaca	Seção Terrap	OK	TRINCAS									AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRL RODA		Observação	
			ISOLADAS						INTERLIGADAS			PLÁSTICO		CONS.		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI (mm)	TRE (mm)		
			FC-1						FC-2		FC-3	ALP 4	ATP 4	ALC 4	ATC 4										
			F1 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	J 2	TB 2	JE 3														TBE 3
			65+00		x																				
66+00		x																					0		
67+00		x																					0		
68+00		x																					0		
69+00		x																					0		
70+00		x																					1		
71+00		x																					0		
72+00		x																					0		
73+00		x																					0		
74+00		x																					1		
75+00		x																					0		
76+00		x																					0		
77+00		x																					0		
78+00		x																					0		
79+00		x																					0		
80+00		x																					1		

Fonte: Elaboração própria.

Quadro A.9 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2012 - segmento monitorado 3 – Faixa Esquerda.

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																									
RODOVIA: SC-370 URUBICI												OPERADOR: Laboratório de Pavimentação da UFSC													
TRECHO: Segmento Monitorado 3												REVESTIMENTO TIPO: Asfalto convencional (50/70) e= 6cm													
DATA: Agosto/2012												ESTACA INICIAL 65+00				ESTACA FINAL 80+00				FAIXA Esquerda					
Estaca	Seção Terrap	OK	TRINCAS										AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRI RODA		Observação
			ISOLADAS						INTERLIGADAS				PLÁSTICO		CONS.		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI (mm)	TRE (mm)	
			FC-1						FC-2		FC-3		ALP 4	ATP 4	ALC 4	ATC 4									
			F1 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	J 2	TB 2	JE 3	TBE 3													
80+00		x																						0	
79+00		x																						0	
78+00		x																						1	
77+00		x																						0	
76+00		x																						0	
75+00		x																						0	
74+00		x																						0	
73+00		x																						0	
72+00		x																						0	
71+00		x																						0	
70+00		x																						0	
69+00		x																						0	
68+00		x																						0	
67+00		x																						1	
66+00		x																						0	
65+00		x																						0	

Fonte: Elaboração própria.

Quadro A.10 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2015 - segmento monitorado 1 – Faixa Direita.

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																																
RODOVIA:			SC-370 URUBICI										OPERADOR:										Laboratório de Pavimentação da UFSC									
TRECHO:			Segmento Monitorado 1										REVESTIMENTO TIPO:										Asfalto-borracha e= 4cm.									
DATA:			Março/2015										ESTACA INICIAL				450+00				ESTACA FINAL				465+00				FAIXA		Direita	
Estaca	Seção Terrap	OK	TRINCAS										AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFETOS						TRI RODA		Observação							
			ISOLADAS						INTERLIGADAS				PLÁSTICO		CONS.		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI (mm)	TRE (mm)								
			FC-1						FC-2		FC-3		ALP 4	ATP 4	ALC 4	ATC 4																
			F1 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	J 2	TB 2	JE 3	TBE 3																				
450+00		x																						0								
451+00		x																						1								
451+12																									A=0,50xl,10m.							
452+00		x																						0								
452+15			x																						A=0,50xl,50m.							
453+00		x																						0								
454+00		x																						1								
455+00		x																						0								
456+00		x																						1								
457+00		x																						1								
458+00		x																						0								
459+00		x																						0								
460+00		x																						0								
461+00		x																						2								
462+00		x																						1								
463+00		x																						3								
464+00		x																						2								
465+00		x																						3								

Fonte: Elaboração própria.

Quadro A.11 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2015 - segmento monitorado 1 – Faixa Esquerda.

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																										
RODOVIA:		SC-370 URUBICI										OPERADOR:		Laboratório de Pavimentação da UFSC												
TRECHO:		Segmento Monitorado 1										REVESTIMENTO TIPO:		Asfalto-borracha e= 4cm.												
DATA:		Março/2015										ESTACA INICIAL		465+00		ESTACA FINAL		450+00		FAIXA		Esquerda				
Estaca	Seção Terrap	OK	TRINCAS										AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRI RODA		Observação	
			ISOLADAS					INTERLIGADAS					PLÁSTICO		CONS.		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI (mm)	TRE (mm)		
			FC-1					FC-2		FC-3			ALP 4	ATP 4	ALC 4	ATC 4										
			FI 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	J 2	TB 2	JE 3	TBE 3														
465+00		x																						2		
464+00																									3	
463+08																						x				A=0,70x1,10m.
463+00		x																							3	
462+00		x																							2	
461+00		x																							2	
460+00		x																							1	
459+00		x																							2	
458+00		x																							1	
457+00		x																							1	
456+00		x																							2	
455+18																						x				A=0,50x0,90m.
455+00		x																							0	
454+00		x																							1	
453+00		x																							1	
452+00		x																							0	
451+00		x																							0	
450+00		x																							0	

Fonte: Elaboração própria.

Quadro A.12 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2015 - segmento monitorado 2 – Faixa Direita.

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																										
RODOVIA: SC-370 URUBICI										OPERADOR: Laboratório de Pavimentação da UFSC																
TRECHO: Segmento Monitorado 2										REVESTIMENTO TIPO: Asfalto-borracha e= 6cm.																
DATA: Março/2015										ESTACA INICIAL 125+00				ESTACA FINAL 140+00				FAIXA Direita								
Estaca	Seção Terrap	OK	TRINCAS										AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFETOS						TRL RODA		Observação	
			ISOLADAS						INTERLIGADAS				PLÁSTICO		CONS.		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI (mm)	TRE (mm)		
			FC-1						FC-2		FC-3		ALP 4	ATP 4	ALC 4	ATC 4										
			FI 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	J 2	TB 2	JE 3	TBE 3														
125+00		x																							1	
126+00		x																							2	
127+00		x																							1	
128+00		x																							0	
129+00		x																							1	
130+00		x																							1	
131+00		x																							0	
132+00		x																							2	
133+00		x																							3	
134+00		x																							4	
135+00		x																							3	
136+00		x																							2	
137+00		x																							3	
138+00		x																							1	
139+00		x																							0	
140+00		x																							1	

Fonte: Elaboração própria.

Quadro A.13 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2015 - segmento monitorado 2 – Faixa Esquerda.

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																									
RODOVIA: SC-370 URUBICI										OPERADOR: Laboratório de Pavimentação da UFSC															
TRECHO: Segmento Monitorado 2										REVESTIMENTO TIPO: Asfalto-borracha e= 6cm															
DATA: Março/2015										ESTACA INICIAL 140+00				ESTACA FINAL 125+00				FAIXA Esquerda							
Estaca	Seção Terrap	OK	TRINCAS										AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRI RODA		Observação
			ISOLADAS						INTERLIGADAS				PLÁSTICO		CONS.		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI (mm)	TRE (mm)	
			FC-1						FC-2		FC-3		ALP 4	ATP 4	ALC 4	ATC 4									
			F1 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	J 2	TB 2	JE 3	TBE 3													
140+00		x																						1	
139+00		x																						4	
138+00		x																						1	
137+00		x																						2	
136+00		x																						2	
135+00		x																						2	
134+00		x																						2	
133+00		x																						2	
132+00		x																						0	
131+00		x																						3	
130+00		x																						3	
129+00		x																						2	
128+00		x																						2	
127+00		x																						2	
126+00		x																						1	
125+00		x																						1	

Fonte: Elaboração própria.

Quadro A.14 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2015 - segmento monitorado 3 – Faixa Direita.

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																									
RODOVIA: SC-370 URUBICI										OPERADOR: Laboratório de Pavimentação da UFSC															
TRECHO: Segmento Monitorado 3										REVESTIMENTO TIPO: Asfalto convencional (50/70) e= 6cm															
DATA: Março/2015										ESTACA INICIAL 65+00				ESTACA FINAL 80+00				FAIXA		Direita					
Estaca	Seção Terrap	OK	TRINCAS										AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRL RODA		Observação
			ISOLADAS						INTERLIGADAS				PLÁSTICO		CONS.		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI (mm)	TRE (mm)	
			FC-1						FC-2		FC-3		ALP 4	ATP 4	ALC 4	ATC 4									
			F1 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	J 2	TB 2	JE 3	TBE 3													
			65+00		x																				
66+00		x																						0	
67+00		x																						3	
68+00		x																						0	
69+00		x																						2	
70+00		x																						3	
71+00		x																						2	
72+00		x																						2	
73+00		x																						2	
74+00		x																						3	
75+00		x																						4	
76+00		x																						2	
77+00		x																						3	
78+00		x																						3	
79+00		x																						1	
80+00		x																						1	

Fonte: Elaboração própria.

Quadro A.15 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2015 - segmento monitorado 3 – Faixa Esquerda.

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																									
RODOVIA: SC-370 URUBICI				OPERADOR: Laboratório de Pavimentação da UFSC																					
TRECHO: Segmento Monitorado 3				REVESTIMENTO TIPO: Asfalto convencional (50/70) e= 6cm																					
DATA: Março/2015				ESTACA INICIAL				65+00				ES TACA FINAL				80+00				FAIXA		Esquerda			
Estaca	Seção Terrap	OK	TRINCAS										AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRI RODA		Observação
			ISOLADAS						INTERLIGADAS				PLÁSTICO		CONS.		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI (mm)	TRE (mm)	
			FC-1						FC-2		FC-3		ALP 4	ATP 4	ALC 4	ATC 4									
			F1 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	J 2	TB 2	JE 3	TBE 3													
80+00		x																						1	
79+00		x																						3	
78+00		x																						3	
77+00		x																						2	
76+00		x																						2	
75+00		x																						2	
74+00		x																						1	
73+00		x																						1	
72+00		x																						2	
71+00		x																						1	
70+00		x																						0	
69+00		x																						2	
68+00		x																						1	
67+00		x																						3	
66+00		x																						1	
65+00		x																						2	

Fonte: Elaboração própria.

Quadro A.16 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2016 - segmento monitorado 1 – Faixa Direita.

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																									
RODOVIA: SC-370 URUBICI								OPERADOR: Laboratório de Pavimentação da UFSC																	
TRECHO: Segmento Monitorado 1								REVESTIMENTO TIPO: Asfalto-borracha e= 4cm.																	
DATA: Fevereiro/2016								ESTACA INICIAL				450+00		ESTACA FINAL				465+00		FAIXA		Direita			
Estaca	Seção Terrap	OK	TRINCAS										AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRL RODA		Observação
			ISOLADAS					INTERLIGADAS					PLÁSTICO		CONS.		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI (mm)	TRE (mm)	
			FC-1					FC-2		FC-3			ALP 4	ATP 4	ALC 4	ATC 4									
			F1 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	J 2	TB 2	JE 3	TBE 3													
450+00		x																						2	
451+00		x																						2,5	
451+11,3																									A=0,45x1,50m
451+12,8																									A=0,50x1,20m
452+00		x																						2	
452+06,0			x																						A=0,10x0,10m
452+5,2				x																					A=0,30x0,40m
452+11,0																									A=0,50x1,90m
453+00		x																						2,5	
454+00		x																						2	
455+00		x																						1	
456+00		x																						2	
457+00		x																						2,5	
458+00		x																						4	
459+00		x																						2,5	
460+00		x																						2	
461+00		x																						2,5	
461+18,4				x																					A=0,40x0,20m
462+00		x																						3,5	
463+00		x																						4,5	
464+00		x																						4,5	
465+00		x																						5	

Fonte: Elaboração própria.

Quadro A.17 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2016 - segmento monitorado 1 – Faixa Esquerda.

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																										
RODOVIA:		SC-370 URUBICI										OPERADOR:		Laboratório de Pavimentação da UFSC												
TRECHO:		Segmento Monitorado 1										REVESTIMENTO TIPO:		Asfalto-borracha e= 4cm.												
DATA:		Fevereiro/2016										ESTACA INICIAL		465+00		ESTACA FINAL		450+00		FAIXA		Esquerda				
Estaca	Seção Terrap	OK	TRINCAS										AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRI RODA		Observação	
			ISOLADAS						INTERLIGADAS				PLÁSTICO		CONS.		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI (mm)	TRE (mm)		
			FC-1						FC-2		FC-3		ALP 4	ATP 4	ALC 4	ATC 4										
			F1 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	J 2	TB 2	JE 3	TBE 3														
465+00		x																						3		
464+00																								3,5		
463+4,0							x																			A=0,20x1,00m
463+2,2							x																			A=0,25x1,20m
463+1,5							x																			A=0,35x1,50m
463+1,3						x																				A=0,20x0,30m
463+00	x																							4		
462+18,9							x																			A=0,30x1,10m
462+00	x																							2		
461+00	x																							2,5		
460+00	x																							2		
459+9,4							x																			A=0,40x1,0m
459+5,0		x																								A=0,10x0,10m
459+00	x																							2		
458+00	x																							2		
457+00	x																							2		
456+00	x																							2,5		
455+12,8							x																			A=0,20x4,5m.
455+00	x																							1,5		
454+00	x																							1		
453+00	x																							1,5		
452+5,7						x																				A=0,20x0,30m
452+00	x																							1		
451+00	x																							1,5		
450+00	x																							1		

Fonte: Elaboração própria.

Quadro A.18 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2016 - segmento monitorado 2 – Faixa Direita.

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																										
RODOVIA: SC-370 URUBICI										OPERADOR: Laboratório de Pavimentação da UFSC																
TRECHO: Segmento Monitorado 2										REVESTIMENTO TIPO: Asfalto-borracha e= 6cm.																
DATA: Fevereiro/2016										ESTACA INICIAL 125+00				ESTACA FINAL 140+00				FAIXA Direita								
Estaca	Seção Terrap	OK	TRINCAS										AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFETOS						TRL RODA		Observação	
			ISOLADAS						INTERLIGADAS				PLÁSTICO		CONS.		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI (mm)	TRE (mm)		
			FC-1						FC-2		FC-3		ALP 4	ATP 4	ALC 4	ATC 4										
			FI 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	J 2	TB 2	JE 3	TBE 3														
125+00		x																							2	
126+00		x																							2	
127+00		x																							1	
128+00		x																							1,5	
129+00		x																							2	
130+00		x																							1,5	
131+00		x																							1,5	
132+00		x																							2	
133+00		x																							3	
134+00		x																							4,5	
135+00		x																							4	
136+00		x																							3,5	
137+00		x																							3,5	
138+00		x																							2	
139+00		x																							1	
140+00		x																							2,5	

Fonte: Elaboração própria.

Quadro A.19 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2016 - segmento monitorado 2 – Faixa Esquerda.

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																									
RODOVIA: SC-370 URUBICI			OPERADOR: Laboratório de Pavimentação da UFSC																						
TRECHO: Segmento Monitorado 2			REVESTIMENTO TIPO: Asfalto-borracha e= 6cm.																						
DATA: Fevereiro/2016			ESTACA INICIAL				140+00				ESTACA FINAL				125+00				FAIXA		Esquerda				
Estaca	Seção Terrap	OK	TRINCAS										AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRI RODA		Observação
			ISOLADAS					INTERLIGADAS					PLÁSTICO		CONS.		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI (mm)	TRE (mm)	
			FC-1					FC-2		FC-3			ALP 4	ATP 4	ALC 4	ATC 4									
			F1 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	J 2	TB 2	JE 3	TBE 3													
140+00		x																						1,5	
139+13,6			x																						A=0,20x0,25m
139+13,0			x																						A=0,10x0,10m
139+00		x																						6	
138+00		x																						2	
137+1,0							x																		A=0,30x2,0m
137+00		x																						3	
136+00		x																						3,5	
135+00		x																						2	
134+00		x																						3	
133+00		x																						2	
132+00		x																						1	
131+00		x																						4,5	
130+00		x																						3,5	
129+00		x																						3	
128+00		x																						4	
127+00		x																						3	
126+00		x																						3,5	
125+00		x																						2,5	

Fonte: Elaboração própria.

Quadro A.20 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2016 - segmento monitorado 3 – Faixa Direita.

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																								
RODOVIA: SC-370 URUBICI						OPERADOR: Laboratório de Pavimentação da UFSC																		
TRECHO: Segmento Monitorado 3						REVESTIMENTO TIPO: Asfalto convencional (50/70) e= 6cm																		
DATA: Fevereiro/2016						ESTACA INICIAL 65+00				ESTACA FINAL 80+00				FAIXA Direita										
Estaca	Seção Terrap	OK	TRINCAS								AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRI RODA		Observação	
			ISOLADAS				INTERLIGADAS				PLÁSTICO		CONS.		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI (mm)	TRE (mm)		
			FC-1				FC-2		FC-3		ALP 4	ATP 4	ALC 4	ATC 4										
			F1 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	J 2	TB 2														JE 3
65+00		x																					5	
66+00			x																				3	A=0,10x0,10m
67+00		x																					3	
68+00		x																					1,5	
69+00		x																					2	
70+00		x																					3	
71+00		x																					2	
72+00		x																					2,5	
73+00		x																					2,5	
73+8,2				x																				A=0,30x0,30m
74+00		x																					3,5	
74+14,1						x																		A=0,30x0,50m
74+14,5						x																		A=0,30x0,60m
75+00		x																					4,5	
76+00		x																					2,5	
77+00		x																					3	
78+00		x																					3	
79+00		x																					2	
80+00		x																					3	

Fonte: Elaboração própria.

Quadro A.21 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2016 - segmento monitorado 3 – Faixa Esquerda.

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																									
RODOVIA: SC-370 URUBICI				OPERADOR: Laboratório de Pavimentação da UFSC																					
TRECHO: Segmento Monitorado 3				REVESTIMENTO TIPO: Asfalto convencional (50/70) e= 6cm																					
DATA: Fevereiro/2016				ESTACA INICIAL				65+00				ESTACA FINAL				80+00				FAIXA		Esquerda			
Estaca	Seção Terrap	OK	TRINCAS								AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRL RODA		Observação		
			ISOLADAS						INTERLIGADAS				PLÁSTICO		CONS.		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8		TRI (mm)	TRE (mm)
			FC-1						FC-2		FC-3		ALP 4	ATP 4	ALC 4	ATC 4									
			F1 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	J 2	TB 2	JE 3	TBE 3													
80+00		x																					1,5		
79+00		x																					3		
78+00		x																					4,5		
77+19						x																		A=0,35x0,60m	
77+00		x																					2		
76+00		x																					3		
75+00		x																					2		
74+00		x																					2		
73+00		x																					2,5		
72+1,1							x																	A=0,20x2,1m	
72+00		x																					2		
71+00		x																					2,5		
70+00		x																					1		
69+00		x																					2		
68+00		x																					2,5		
67+00		x																					3		
66+00		x																					2		
65+00		x																					3		

Fonte: Elaboração própria.

A.2.2 Avaliação objetiva da superfície pela determinação do IGG

Quadro A.22 – Planilha do cálculo do IGG (2012) - segmento monitorado 1 Urubici - Faixa Direita.

PLANILLA DO CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL-IGG (DNIT 006/2003-PRO)													
Rodovia: SC-370 URUBICI				Revestimento: Asfalto-borracha e= 4cm.						Ano 2012			
Trecho: Segmento Monitorado 1				Estacas: 450+00 - 465+00									
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO			Frequência Absoluta		Frequência relativa		Fator de ponderação			Índice de gravidade individual		Obs.
1	(FC-1) TTC, TTL, TLC, TLL,TRR			0		0,00		0,2			0,00		
2	(FC-2), J, TB			0		0,00		0,5			0,00		
3	(FC-3), JE, TBE			0		0,00		0,8			0,00		
4	ALP/ATP-ALC/ATC			0		0,00		0,9			0,00		
5	O, P			0		0,00		1			0,00		
6	Ex			0		0,00		0,5			0,00		
7	D			0		0,00		0,3			0,00		
8	R			0		0,00		0,6			0,00		
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE			TRI=	0,19	TRE=	0,19	F=	0,188	1A	1,33	0,25	
							1B						
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas			TRIV=	0,16	TREv=	0,16	FV=	0,163	2A	1	0,16	
								2B					
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES				8		1A) IGI=Fx4/3 quando F≤30				1B) IGI=40 quando F>30			
ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL = IGG				1,00		2A) IGI = FV quando F≤50				2B) IGI=50 quando FV>50			
CONCEITO				Ótimo									

Fonte: Elaboração própria.

Quadro A.23 – Planilha do cálculo do IGG (2012) - segmento monitorado 1 Urubici - Faixa Esquerda.

PLANILLA DO CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL-IGG (DNIT 006/2003-PRO)													
Rodovia: SC-370 URUBICI				Revestimento: Asfalto-borracha e=4cm.						Ano 2012			
Trecho: Segmento Monitorado 1				Estacas: 465+00 - 450+00									
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO			Frequência Absoluta		Frequência relativa		Fator de ponderação			Índice de gravidade individual	Obs.	
1	(FC-1) TTC, TTL, TLC, TLL, TRR			0		0,00		0,2			0,00		
2	(FC-2), J, TB			0		0,00		0,5			0,00		
3	(FC-3), JE, TBE			0		0,00		0,8			0,00		
4	ALP/ATP-ALC/ATC			0		0,00		0,9			0,00		
5	O, P			0		0,00		1			0,00		
6	Ex			0		0,00		0,5			0,00		
7	D			0		0,00		0,3			0,00		
8	R			0		0,00		0,6			0,00		
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE			TRI=	0,06	TRE=	0,06	F=	0,06	1A	1,33	0,08	
										1B			
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas			TRIV=	0,06	TREv=	0,06	FV=	0,06	2A	1,00	0,06	
										2B			
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES				8		1A) IGI=Fx4/3 quando F≤30			1B) IGI=40 quando F>30				
ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL = IGG				1,00		2A) IGI = FV quando F≤50			2B) IGI=50 quando FV>50				
CONCEITO				Ótimo									

Fonte: Elaboração própria.

Quadro A.24 – Planilha do cálculo do IGG (2012) - segmento monitorado 2 Urubici - Faixa Direita.

PLANILLA DO CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL-IGG (DNIT 006/2003-PRO)											
Rodovia: SC-370 URUBICI				Revestimento: Asfalto-borracha e= 6cm.				Ano 2012			
Trecho: Segmento Monitorado 2				Estacas: 125+00 - 140+00							
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO		Frequência Absoluta		Frequência relativa		Fator de ponderação		Índice de gravidade individual		Obs.
1	(FC-1) TTC, TTL, TLC, TLL,TRR		0		0,00		0,2		0,00		
2	(FC-2), J, TB		0		0,00		0,5		0,00		
3	(FC-3), JE, TBE		0		0,00		0,8		0,00		
4	ALP/ATP-ALC/ATC		0		0,00		0,9		0,00		
5	O, P		0		0,00		1		0,00		
6	Ex		0		0,00		0,5		0,00		
7	D		0		0,00		0,3		0,00		
8	R		0		0,00		0,6		0,00		
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE		TRI=	0,19	TRE=	0,19	F=	0,19	1A	1,33	0,25
								1B			
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas		TRIV=	0,16	TREv=	0,16	FV=	0,16	2A	1,00	0,16
								2B			
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES			8		1A) IGI=Fx4/3 quando F≤30				1B) IGI=40 quando F>30		
ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL = IGG			1,00		2A) IGI = FV quando F≤50				2B) IGI=50 quando FV>50		
CONCEITO			Ótimo								

Fonte: Elaboração própria.

Quadro A.25 – Planilha do cálculo do IGG (2012) - segmento monitorado 2 Urubici - Faixa Esquerda.

PLANILLA DO CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL-IGG (DNIT 006/2003-PRO)										
Rodovia SC-370 URUBICI				Revestimento: Asfalto-borracha e= 6cm.				Ano 2012		
Trecho: Segmento Monitorado 2				Estacas: 140+00 - 125+00						
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO		Frequência Absoluta	Frequência relativa		Fator de ponderação			Índice de gravidade individual	Obs.
1	(FC-1) TTC, TTL, TLC, TLL,TRR		0	0,00		0,2			0,00	
2	(FC-2), J, TB		0	0,00		0,5			0,00	
3	(FC-3), JE, TBE		0	0,00		0,8			0,00	
4	ALP/ATP-ALC/ATC		0	0,00		0,9			0,00	
5	O, P		0	0,00		1			0,00	
6	Ex		0	0,00		0,5			0,00	
7	D		0	0,00		0,3			0,00	
8	R		0	0,00		0,6			0,00	
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE		TRI=	0,19	TRE=	0,1875	F=	0,19	1A 1B	1,33 0,25
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas		TRIV=	0,16	TREv=	0,1625	FV=	0,16	2A 2B	1,00 0,16
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES			8		1A) IGI=Fx4/3 quando F≤30			1B) IGI=40 quando F>30		
ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL = IGG			1,00		2A) IGI = FV quando F≤50			2B) IGI=50 quando FV>50		
CONCEITO			Ótimo							

Fonte: Elaboração própria.

Quadro A.26 – Planilha do cálculo do IGG (2012) - segmento monitorado 3 Urubici - Faixa Direita.

PLANILLA DO CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL-IGG (DNIT 006/2003-PRO)												
Rodovia: SC-370 URUBICI				Revestimento: Asfalto convencional (50/70) e= 6cm						Ano		
Trecho: Segmento Monitorado 3				Estacas: 65+00 - 80+00						2012		
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO		Frequência Absoluta		Frequência relativa		Fator de ponderação			Índice de gravidade individual		Obs.
1	(FC-1) TTC, TTL, TLC, TLL,TRR		0		0,00		0,2			0,00		
2	(FC-2), J, TB		0		0,00		0,5			0,00		
3	(FC-3), JE, TBE		0		0,00		0,8			0,00		
4	ALP/ATP-ALC/ATC		0		0,00		0,9			0,00		
5	O, P		0		0,00		1			0,00		
6	Ex		0		0,00		0,5			0,00		
7	D		0		0,00		0,3			0,00		
8	R		0		0,00		0,6			0,00		
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE		TRI=	0,19	TRE=	0,19	F=	0,19	1A	1,33	0,25	
								1B				
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas		TRIV=	0,16	TREv=	0,16	FV=	0,16	2A	1,00	0,16	
								2B				
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES			8		1A) IGI=Fx4/3 quando F≤30				1B) IGI=40 quando F>30			
ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL = IGG			1,00		2A) IGI = FV quando F≤50				2B) IGI=50 quando FV>50			
CONCEITO			Ótimo									

Fonte: Elaboração própria.

Quadro A.27 – Planilha do cálculo do IGG (2012) – segmento monitorado 3 Urubici – Faixa Esquerda.

PLANILHA DO CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL-IGG (DNIT 006/2003-PRO)													
Rodovia: SC-370 URUBICI				Revestimento: Asfalto convencional (50/70) e=6cm							Ano		
Trecho: Segmento monitorado 3				Estacas: 80+00 - 65+00							2012		
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO			Frequência Absoluta		Frequência relativa		Fator de ponderação			Índice de gravidade individual		Obs.
1	(FC-1) TTC, TTL, TLC, TLL, TRR			0		0,00		0,2			0,00		
2	(FC-2), J, TB			0		0,00		0,5			0,00		
3	(FC-3), JE, TBE			0		0,00		0,8			0,00		
4	ALP/ATP-ALC/ATC			0		0,00		0,9			0,00		
5	O, P			0		0,00		1			0,00		
6	Ex			0		0,00		0,5			0,00		
7	D			0		0,00		0,3			0,00		
8	R			0		0,00		0,6			0,00		
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE			TRI=	0,13	TRE=	0,13	F=	0,13	1A	1,33	0,17	
								1B					
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas			TRIV=	0,12	TREv=	0,12	FV=	0,12	2A	1,00	0,12	
										2B			
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES				8		1A) IGI=Fx4/3 quando F≤30				1B) IGI=40 quando F>30			
ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL = IGG				1,00		2A) IGI = FV quando F≤50				2B) IGI=50 quando FV>50			
CONCEITO				Ótimo									

Fonte: Elaboração própria.

Quadro A.28 – Planilha do cálculo do IGG (2015) – segmento monitorado 1 Urubici – Faixa Direita.

PLANILLA DO CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL-IGG (DNIT 006/2003-PRO)													
Rodovia: SC-370 URUBICI				Revestimento: Asfalto-borracha e= 4m.				Ano 2015					
Trecho: Segmento monitorado 1				Estacas: 450+00 - 465+00									
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO			Frequência Absoluta	Frequência relativa		Fator de ponderação			Índice de gravidade individual		Obs.	
1	(FC-1) TTC, TTL, TLC, TLL,TRR			0	0,00		0,2			0,00			
2	(FC-2), J, TB			0	0,00		0,5			0,00			
3	(FC-3), JE, TBE			0	0,00		0,8			0,00			
4	ALP/ATP-ALC/ATC			0	0,00		0,9			0,00			
5	O, P			0	0,00		1			0,00			
6	Ex			0	0,00		0,5			0,00			
7	D			0	0,00		0,3			0,00			
8	R			0	0,00		0,6			0,00			
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE			TRI=	0,94	TRE=	0,94	F=	0,94	1A	1,33	1,25	
							1B						
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas			TRIV=	1,13	TREv=	1,13	FV=	1,13	2A	1,00	1,13	
							2B						
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES				8		1A) IGI=Fx4/3 quando F≤30				1B) IGI=40 quando F>30			
ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL = IGG				3,00		2A) IGI = FV quando F≤50				2B) IGI=50 quando FV>50			
CONCEITO				Ótimo									

Fonte: Elaboração própria.

Quadro A.29 – Planilha do cálculo do IGG (2015) – segmento monitorado 1 Urubici – Faixa Esquerda.

PLANILLA DO CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL-IGG (DNIT 006/2003-PRO)													
Rodovia: SC-370 URUBICI				Revestimento: Asfalto-borracha e= 4cm.						Ano 2015			
Trecho: Segmento monitorado 1				Estacas: 465+00 - 450+00									
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO			Frequência Absoluta		Frequência relativa		Fator de ponderação			Índice de gravidade individual		Obs.
1	(FC-1) TTC, TTL, TLC, TLL, TRR			0		0,00		0,2			0,00		
2	(FC-2), J, TB			0		0,00		0,5			0,00		
3	(FC-3), JE, TBE			0		0,00		0,8			0,00		
4	ALP/ATP-ALC/ATC			0		0,00		0,9			0,00		
5	O, P			0		0,00		1			0,00		
6	Ex			0		0,00		0,5			0,00		
7	D			1		12,50		0,3			3,75		
8	R			0		0,00		0,6			0,00		
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas emmmnas TRI e TRE			TRI=	1,31	TRE=	1,31	F=	1,31	1A	1,33	1,75	
1B													
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas			TRIV=	1,03	TREv=	1,03	FV=	1,03	2A	1,00	1,03	
										2B			
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES				8		1A) IGI=Fx4/3 quando F≤30				1B) IGI=40 quando F>30			
ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL = IGG				7,00		2A) IGI = FV quando F≤50				2B) IGI=50 quando FV>50			
CONCEITO				Ótimo									

Fonte: Elaboração própria.

Quadro A.30 – Planilha do cálculo do IGG (2015) – segmento monitorado 2 Urubici – Faixa Direita.

PLANILLA DO CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL-IGG (DNIT 006/2003-PRO)											
Rodovia: SC-370 URUBICI				Revestimento:							

Fonte: Elaboração própria.

Quadro A.31 – Planilha do cálculo do IGG (2015) – segmento monitorado 2 Urubici – Faixa Esquerda.

PLANILLA DO CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL-IGG (DNIT 006/2003-PRO)													
Rodovia: SC-370 URUBICI				Revestimento: Asfalto-borracha e= 6cm.				Ano					
Trecho: Segmento monitorado 2				Estacas: 140+00 - 125+00				2015					
ITEM	NATUREZA DO DEFETO			Frequência Absoluta		Frequência relativa		Fator de ponderação			Índice de gravidade individual	Obs.	
1	(FC-1) TTC, TTL, TLC, TLL,TRR			0		0,00		0,2			0,00		
2	(FC-2), J, TB			0		0,00		0,5			0,00		
3	(FC-3), JE, TBE			0		0,00		0,8			0,00		
4	ALP/ATP-ALC/ATC			0		0,00		0,9			0,00		
5	O, P			0		0,00		1			0,00		
6	Ex			0		0,00		0,5			0,00		
7	D			0		0,00		0,3			0,00		
8	R			0		0,00		0,6			0,00		
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE			TRI=	1,88	TRE=	1,88	F=	1,88	1A	1,33	2,50	
										1B			
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas			TRIV=	0,92	TREv=	0,92	FV=	0,92	2A	1,00	0,92	
										2B			
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES				8		1A) IGI=Fx4/3 quando F≤30				1B) IGI=40 quando F>30			
ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL = IGG				4,00		2A) IGI= FV quando F≤50				2B) IGI=50 quando FV>50			
CONCEITO				Ótimo									

Fonte: Elaboração própria.

Quadro A.32 – Planilha do cálculo do IGG (2015) – segmento monitorado 3 Urubici – Faixa Direita.

PLANILHA DO CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL-IGG (DNIT 006/2003-PRO)											
Rodovia: SC-370 URUBICI				Revestimento: Asfalto convencional (50/70) e= 6cm						Ano	
Trecho: Segmento monitorado 3				Estacas: 65+00 - 80+00						2015	
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO	Frequência Absoluta	Frequência relativa		Fator de ponderação			Índice de gravidade individual		Obs.	
1	(FC-1) TTC, TTL, TLC, TLL,TRR	0	0,00		0,2			0,00			
2	(FC-2), J, TB	0	0,00		0,5			0,00			
3	(FC-3), JE, TBE	0	0,00		0,8			0,00			
4	ALP/ATP-ALC/ATC	0	0,00		0,9			0,00			
5	O, P	0	0,00		1			0,00			
6	Ex	0	0,00		0,5			0,00			
7	D	0	0,00		0,3			0,00			
8	R	0	0,00		0,6			0,00			
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE	TRI=	1,94	TRE=	1,94	F=	1,94	1A	1,33	2,58	
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TRIV=	1,53	TREv=	1,53	FV=	1,53	1B			
								2A	1,00	1,53	
								2B			
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		8		1A) IGI=Fx4/3 quando F≤30				1B) IGI=40 quando F>30			
ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL = IGG		5,00		2A) IGI = FV quando F≤50				2B) IGI=50 quando FV>50			
CONCEITO		Ótimo									

Fonte: Elaboração própria.

Quadro A.33 – Planilha do cálculo do IGG (2015) – segmento monitorado 3 Urubici – Faixa Esquerda.

PLANILHA DO CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL-IGG (DNIT 006/2003-PRO)												
Rodovia: SC-370 URUBICI			Revestimento: Asfalto convencional (50/70) e= 6cm						Ano			
Trecho: Segmento monitorado 3			Estacas: 80+00 - 65+00						2015			
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO		Frequência Absoluta		Frequência relativa		Fator de ponderação			Índice de gravidade individual		Obs.
1	(FC-1) TTC, TTL, TLC, TLL, TRR		0		0,00		0,2			0,00		
2	(FC-2), J, TB		0		0,00		0,5			0,00		
3	(FC-3), JE, TBE		0		0,00		0,8			0,00		
4	ALP/ATP-ALC/ATC		0		0,00		0,9			0,00		
5	O, P		0		0,00		1			0,00		
6	Ex		0		0,00		0,5			0,00		
7	D		0		0,00		0,3			0,00		
8	R		0		0,00		0,6			0,00		
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE		TRI=	1,69	TRE=	1,69	F=	1,69	1A	1,33	2,25	
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas		TRIV=	0,76	TREv=	0,76	FV=	0,76	1B			
									2A	1,00	0,76	
									2B			
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES			8		1A) IGI=Fx4/3 quando F≤30				1B) IGI=40 quando F>30			
ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL = IGG			4,00		2A) IGI = FV quando F≤50				2B) IGI=50 quando FV>50			
CONCEITO			Ótimo									

Fonte: Elaboração própria.

Quadro A.34 – Planilha do cálculo do IGG (2016) – segmento monitorado 1 Urubici – Faixa Direita.

PLANILLA DO CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL-IGG (DNIT 006/2003-PRO)														
Rodovia: SC-370 URUBICI					Revestimento: Asfalto-borracha e= 4m.					Ano 2016				
Trecho: Segmento monitorado 1					Estacas: 450+00 - 465+00									
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO				Frequência Absoluta		Frequência relativa		Fator de ponderação			Índice de gravidade individual	Obs.	
1	(FC-1) TTC, TTL, TLC, TLL,TRR				2		25,00		0,2			5,00		
2	(FC-2), J, TB				0		0,00		0,5			0,00		
3	(FC-3), JE, TBE				0		0,00		0,8			0,00		
4	ALP/ATP-ALC/ATC				0		0,00		0,9			0,00		
5	O, P				0		0,00		1			0,00		
6	Ex				0		0,00		0,5			0,00		
7	D				0		0,00		0,3			0,00		
8	R				0		0,00		0,6			0,00		
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE				TRI=	2,81	TRE=	2,81	F=	2,81	1A	1,33	3,75	
											1B			
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas				TRIV=	1,30	TREv=	1,30	FV=	1,30	2A	1,00	1,30	
											2B			
N° TOTAL DE ESTAÇÕES					8		1A) IGI=Fx4/3 quando F≤30				1B) IGI=40 quando F>30			
ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL = IGG					11,00		2A) IGI = FV quando F≤50				2B) IGI=50 quando FV>50			
CONCEITO					Ótimo									

Fonte: Elaboração própria.

Quadro A.35 – Planilha do cálculo do IGG (2016) – segmento monitorado 1 Urubici – Faixa Esquerda.

PLANILLA DO CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL-IGG (DNIT 006/2003-PRO)													
Rodovia: SC-370 URUBICI				Revestimento: Asfalto-borracha e= 4cm.					Ano 2016				
Trecho: Segmento monitorado 1				Estacas: 465+00 - 450+00									
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO			Frequência Absoluta		Frequência relativa		Fator de ponderação			Índice de gravidade Individual	Obs.	
1	(FC-1) TTC, TTL, TLC, TLL,TRR			2		25,00		0,2			5,00		
2	(FC-2), J, TB			0		0,00		0,5			0,00		
3	(FC-3), JE, TBE			0		0,00		0,8			0,00		
4	ALP/ATP-ALC/ATC			0		0,00		0,9			0,00		
5	O, P			0		0,00		1			0,00		
6	Ex			0		0,00		0,5			0,00		
7	D			0		0,00		0,3			0,00		
8	R			0		0,00		0,6			0,00		
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE			TRI=	2,06	TRE=	2,06	F=	2,06	1A	1,33	2,75	
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas			TRIV=	0,76	TREv=	0,76	FV=	0,76	1B			
										2A	1,00	0,76	
										2B			
N° TOTAL DE ESTAÇÕES				8		1A) IGI=Fx4/3 quando F≤30				1B) IGI=40 quando F>30			
ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL = IGG				9,00		2A) IGI = FV quando F≤50				2B) IGI=50 quando FV>50			
CONCEITO				Ótimo									

Fonte: Elaboração própria.

Quadro A.36 – Planilha do cálculo do IGG (2016) – segmento monitorado 2 Urubici – Faixa Direita.

PLANILLA DO CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL-IGG (DNIT 006/2003-PRO)										
Rodovia: SC-370 URUBICI				Revestimento: Asfalto-borracha e= 6cm.				Ano 2016		
Trecho: Segmento monitorado 2				Estacas: 125+00 - 140+00						
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO	Frequência Absoluta	Frequência relativa	Fator de ponderação			Índice de gravidade individual		Obs.	
1	(FC-1) TTC, TTL, TLC, TLL,TRR	0	0,00	0,2			0,00			
2	(FC-2), J, TB	0	0,00	0,5			0,00			
3	(FC-3), JE, TBE	0	0,00	0,8			0,00			
4	ALP/ATP-ALC/ATC	0	0,00	0,9			0,00			
5	O, P	0	0,00	1			0,00			
6	Ex	0	0,00	0,5			0,00			
7	D	0	0,00	0,3			0,00			
8	R	0	0,00	0,6			0,00			
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE	TRI=	2,34	TRE=	2,34	F=	2,34	1A	1,33	3,13
								1B		
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TRIV=	1,12	TREv=	1,12	FV=	1,12	2A	1,00	1,12
								2B		
N° TOTAL DE ESTAÇÕES		8		1A) IGI=Fx4/3 quando F≤30				1B) IGI=40 quando F>30		
ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL = IGG		5,00		2A) IGI = FV quando F≤50				2B) IGI=50 quando FV>50		
CONCEITO		Ótimo								

Fonte: Elaboração própria.

Quadro A.37 – Planilha do cálculo do IGG (2016) – segmento monitorado 2 Urubici – Faixa Esquerda.

PLANILLA DO CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL-IGG (DNIT 006/2003-PRO)													
Rodovia: SC-370 URUBICI				Revestimento: Asfalto-borracha e=6cm.						Ano 2016			
Trecho: Segmento monitorado 2				Estacas: 140+00 - 125+00									
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO			Frequência Absoluta		Frequência relativa		Fator de ponderação			Índice de gravidade individual	Obs.	
1	(FC-1) TTC, TTL, TLC, TLL,TRR			2		25,00		0,2			5,00		
2	(FC-2), J, TB			0		0,00		0,5			0,00		
3	(FC-3), JE, TBE			0		0,00		0,8			0,00		
4	ALP/ATP-ALC/ATC			0		0,00		0,9			0,00		
5	O, P			0		0,00		1			0,00		
6	Ex			0		0,00		0,5			0,00		
7	D			0		0,00		0,3			0,00		
8	R			0		0,00		0,6			0,00		
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE			TRI=	3,00	TRE=	3,00	F=	3,00	1A	1,33	4,00	
										1B			
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas			TRIV=	1,50	TREv=	1,50	FV=	1,50	2A	1,00	1,50	
										2B			
N° TOTAL DE ESTAÇÕES				8		1A) IGI=Fx4/3 quando F≤30				1B) IGI=40 quando F>30			
ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL = IGG				11,00		2A) IGI = FV quando F≤50				2B) IGI=50 quando FV>50			
CONCEITO				Ótimo									

Fonte: Elaboração própria.

Quadro A.38 – Planilha do cálculo do IGG (2016) – segmento monitorado 3 Urubici – Faixa Direita.

PLANILLA DO CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL-IGG (DNIT 006/2003-PRO)												
Rodovia: SC-370 URUBICI					Revestimento: Asfalto convencional (50/70) e=6cm					Ano		
Trecho: Segmento monitorado 3					Estacas: 65+00 - 80+00					2016		
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO		Frequência Absoluta		Frequência relativa		Fator de ponderação			Índice de gravidade individual		Obs.
1	(FC-1) TTC, TTL, TLC, TLL,TRR		2		25,00		0,2			5,00		
2	(FC-2), J, TB		0		0,00		0,5			0,00		
3	(FC-3), JE, TBE		0		0,00		0,8			0,00		
4	ALP/ATP-ALC/ATC		0		0,00		0,9			0,00		
5	O, P		0		0,00		1			0,00		
6	Ex		0		0,00		0,5			0,00		
7	D		0		0,00		0,3			0,00		
8	R		0		0,00		0,6			0,00		
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE		TRI=	2,88	TRE=	2,88	F=	2,88	1A	1,33	3,83	
								1B				
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas		TRIV=	0,82	TREv=	0,82	FV=	0,82	2A	1,00	0,82	
									2B			
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES			8		1A) IGI=Fx/4/3 quando F≤30				1B) IGI=40 quando F>30			
ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL = IGG			10,00		2A) IGI = FV quando F<50				2B) IGI=50 quando FV>50			
CONCEITO			Ótimo									

Fonte: Elaboração própria.

Quadro A.39 – Planilha do cálculo do IGG (2016) – segmento monitorado 3 Urubici – Faixa Esquerda.

PLANILLA DO CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL-IGG (DNIT 006/2003-PRO)												
Rodovia: SC-370 URUBICI					Revestimento: Asfalto convencional (50/70) e= 6cm					Ano		
Trecho: Segmento monitorado 3					Estacas: 80+00 - 65+00					2016		
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO		Frequência Absoluta		Frequência relativa		Fator de ponderação			Índice de gravidade individual		Obs.
1	(FC-1) TTC, TTL, TLC, TLL, TRR		1		12,50		0,2			2,50		
2	(FC-2), J, TB		0		0,00		0,5			0,00		
3	(FC-3), JE, TBE		0		0,00		0,8			0,00		
4	ALP/ATP-ALC/ATC		0		0,00		0,9			0,00		
5	O, P		0		0,00		1			0,00		
6	Ex		0		0,00		0,5			0,00		
7	D		0		0,00		0,3			0,00		
8	R		0		0,00		0,6			0,00		
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE		TRI=	2,41	TRE=	2,41	F=	2,41	1A	1,33	3,21	
									1B			
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas		TRIV=	0,64	TREv=	0,64	FV=	0,64	2A	1,00	0,64	
									2B			
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES			8		1A) IGI=Fx/3 quando F≤30				1B) IGI=40 quando F>30			
ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL = IGG			7,00		2A) IGI = FV quando F≤50				2B) IGI=50 quando FV>50			
CONCEITO			Ótimo									

Fonte: Elaboração própria.

A.2.3 Afundamento de trilha de roda

Quadro A.40 – Resultado das medições de trilha de roda – segmento monitorado 1.

SEGMENTO 1	Afundamento de trilha de roda (mm)							
	2012-UFSC (Trelça)		2014-COPPE (Laser)		2015-UFSC (Trelça)		2016-UFSC (Trelça)	
ESTACA	Faixa Direita	Faixa Esquerda	Faixa Direita	Faixa Esquerda	Faixa Direita	Faixa Esquerda	Faixa Direita	Faixa Esquerda
450	0,0	0,0	0,2	0,9	0,0	0,0	2,0	1,0
451	0,0	0,0	0,4	1,2	1,0	0,0	2,5	1,5
452	0,0	0,0	1,6	1,0	0,0	0,0	2,0	1,0
453	0,0	0,0	1,2	0,6	0,0	1,0	2,5	1,5
454	0,0	0,0	1,2	1,0	1,0	1,0	2,0	1,0
455	0,0	0,0	1,1	0,7	0,0	0,0	1,0	1,5
456	1,0	0,0	1,5	0,9	1,0	2,0	2,0	2,5
457	0,0	0,0	2,9	1,1	1,0	1,0	2,5	2,0
458	0,0	0,0	1,7	1,8	0,0	1,0	4,0	2,0
459	0,0	0,0	1,2	1,8	0,0	2,0	2,5	2,0
460	0,0	0,0	1,7	1,5	0,0	1,0	2,0	2,0
461	0,0	0,0	2,4	1,2	2,0	2,0	2,5	2,5
462	0,0	0,0	2,1	1,2	1,0	2,0	3,5	2,0
463	1,0	1,0	2,6	1,3	3,0	3,0	4,5	4,0
464	0,0	0,0	2,1	1,7	2,0	3,0	4,5	3,5
465	1,0	0,0	2,5	2,2	3,0	2,0	5,0	3,0
Média (mm)	0,19	0,06	1,65	1,26	0,94	1,31	2,81	2,06
S.V. (mm)	0,40	0,25	0,76	0,44	1,06	1,01	1,14	0,87

Fonte: Elaboração própria.

Quadro A.41 – Resultado das medições de trilha de roda – segmento monitorado 2.

SEGMENTO 2	Afundamento de trilha de roda (mm)							
	2012-UFSC (Trelça)		2014-COPPE (Laser)		2015-UFSC (Trelça)		2016-UFSC (Trelça)	
ESTACA	Faixa Direita	Faixa Esquerda	Faixa Direita	Faixa Esquerda	Faixa Direita	Faixa Esquerda	Faixa Direita	Faixa Esquerda
125	0,0	0,0	0,8	1,2	1,0	1,0	2,0	2,5
126	0,0	0,0	1,3	1,7	2,0	1,0	2,0	3,5
127	0,0	0,0	1,4	1,5	1,0	2,0	1,0	3,0
128	0,0	0,0	1,5	2,6	0,0	2,0	1,5	4,0
129	1,0	1,0	0,9	3,3	1,0	2,0	2,0	3,0
130	0,0	0,0	1,6	1,5	1,0	3,0	1,5	3,5
131	0,0	0,0	0,9	2,9	0,0	3,0	1,5	4,5
132	0,0	0,0	1,6	1,5	2,0	0,0	2,0	1,0
133	0,0	0,0	1,2	1,0	3,0	2,0	3,0	2,0
134	0,0	0,0	2,5	1,8	4,0	2,0	4,5	3,0
135	0,0	0,0	1,6	1,6	3,0	2,0	4,0	2,0
136	1,0	1,0	0,8	4,2	2,0	2,0	3,5	3,5
137	0,0	0,0	1,8	1,5	3,0	2,0	3,5	3,0
138	0,0	0,0	0,8	2,0	1,0	1,0	2,0	2,0
139	1,0	1,0	0,0	3,3	0,0	4,0	1,0	6,0
140	0,0	0,0	0,5	1,2	1,0	1,0	2,5	1,5
Média (mm)	0,19	0,19	1,20	2,05	1,56	1,88	2,34	3,00
S.V. (mm)	0,40	0,40	0,59	0,93	1,21	0,96	1,06	1,22

Fonte: Elaboração própria.

Quadro A.42 – Resultado das medições de trilha de roda – segmento monitorado 3.

SEGMENTO 3	Afundamento de trilha de roda (mm)							
	2012-UFSC (Treliza)		2014-COPPE (Laser)		2015-UFSC (Treliza)		2016-UFSC (Treliza)	
ESTACA	Faixa Direita	Faixa Esquerda	Faixa Direita	Faixa Esquerda	Faixa Direita	Faixa Esquerda	Faixa Direita	Faixa Esquerda
65	0,0	0,0	2,4	1,4	0,0	2,0	5,0	3,0
66	0,0	0,0	0,9	1,5	0,0	1,0	3,0	2,0
67	0,0	1,0	1,4	0,0	3,0	3,0	3,0	3,0
68	0,0	0,0	0,8	1,3	0,0	1,0	1,5	2,5
69	0,0	0,0	1,9	0,5	2,0	2,0	2,0	2,0
70	1,0	0,0	2,5	0,3	3,0	0,0	3,0	1,0
71	0,0	0,0	0,4	0,9	2,0	1,0	2,0	2,5
72	0,0	0,0	1,5	0,9	2,0	2,0	2,5	2,0
73	0,0	0,0	1,1	1,9	2,0	1,0	2,5	2,5
74	1,0	0,0	2,3	0,9	3,0	1,0	3,5	2,0
75	0,0	0,0	2,1	0,7	4,0	2,0	4,5	2,0
76	0,0	0,0	1,3	0,4	2,0	2,0	2,5	3,0
77	0,0	0,0	1,3	0,8	3,0	2,0	3,0	2,0
78	0,0	1,0	1,2	0,9	3,0	3,0	3,0	4,5
79	0,0	0,0	0,7	0,8	1,0	3,0	2,0	3,0
80	1,0	0,0	1,2	1,1	1,0	1,0	3,0	1,5
Média (mm)	0,19	0,13	1,44	0,89	1,94	1,69	2,88	2,41
S.V. (mm)	0,40	0,34	0,63	0,48	1,24	0,87	0,90	0,80

Fonte: Elaboração própria.

A.2.4 Irregularidade longitudinal (IRI)

Quadro A.43 – Resultado da medição da irregularidade longitudinal (2014)

SEGMENTO 1	IRI (m/km)		SEGMENTO 2	IRI (m/km)		SEGMENTO 3	IRI (m/km)	
ESTACA	Faixa Direita	Faixa Esquerda	ESTACA	Faixa Direita	Faixa Esquerda	ESTACA	Faixa Direita	Faixa Esquerda
450	1,01	1,31	125	1,73	2,23	65	2,86	2,73
451	1,13	1,48	126	2,06	1,93	66	1,49	2,07
452	1,77	1,07	127	1,44	2,57	67	1,96	1,95
453	1,01	1,27	128	2,52	2,42	68	1,19	1,37
454	1,35	1,22	129	2,17	2,73	69	1,98	1,92
455	1,50	2,27	130	2,86	2,42	70	1,69	0,90
456	2,22	1,09	131	2,23	1,73	71	1,28	1,36
457	0,87	1,40	132	1,44	1,74	72	1,28	1,48
458	1,39	1,24	133	1,36	2,04	73	1,14	1,62
459	1,46	1,05	134	1,47	1,96	74	1,80	1,47
460	1,88	1,36	135	1,07	1,32	75	2,85	2,73
461	1,31	0,83	136	1,19	1,56	76	2,58	1,72
462	1,46	1,24	137	2,47	1,49	77	2,13	1,32
463	1,01	1,32	138	1,91	2,35	78	1,02	1,18
464	1,33	1,31	139	1,61	1,89	79	2,06	2,05
465	2,15	1,30	140	2,67	1,79	80	3,78	4,46

Fonte: Elaboração própria.

A.2.5 *Macrotextura e microtextura*

Quadro A.44 – Resultado da medição da macrotextura e microtextura.

SEGMENTO	Macrotextura						Microtextura		
	HS (mm)						VRD		
	2014			2015			2015		
	Estaca	Faixa Direita	Faixa Esquerda	Estaca	Faixa Direita	Faixa Esquerda	Estaca	Faixa Direita	Faixa Esquerda
1	450	0,63	0,63	450	0,54	0,68	450	41,00	53,75
	455	0,63	0,63	454	0,62	0,76	454	58,00	50,00
	460	0,63	0,63	457	0,58	0,59	457	56,25	54,75
	465	0,63	0,63	462	0,67	0,72	462	46,50	59,75
				460	0,60	0,70	460	43,25	56,00
2	125	0,69	0,82	125	0,67	0,66	125	58,50	49,25
	130	0,67	0,67	127	0,63	0,71	127	49,25	49,00
	136	0,82	0,69	131	0,58	0,83	131	52,00	48,75
	140	0,82	0,69	134	0,66	0,67	134	47,00	53,25
				137	0,69	0,62	137	55,00	54,50
				140	0,61	0,57	140	60,25	55,75
3	65	0,70	0,64	65	0,48	0,68	65	49,25	53,00
	70	0,74	0,74	67	0,66	0,71	67	50,50	35,75
	76	0,64	0,70	69	0,56	0,69	69	56,75	44,25
	80	0,64	0,70	71	0,56	0,63	71	56,25	49,25
				73	0,58	0,69	73	42,75	47,25
				75	0,56	0,68	75	56,50	41,75
				77	0,59	0,69	77	56,25	52,25
				79	0,60	0,65	79	47,50	54,75

Fonte: Elaboração própria.

Quadro A.45 – Resultado da medições com o *Grip Tester* (2014)

Segmento 1					Segmento 2					Segmento 3				
Estaca	Faixa direita		Faixa esquerda		Estaca	Faixa direita		Faixa esquerda		Estaca	Faixa direita		Faixa esquerda	
	GN	Velocidade (km/h)	GN	Velocidade (km/h)		GN	Velocidade (km/h)	GN	Velocidade (km/h)		GN	Velocidade (km/h)	GN	Velocidade (km/h)
450	0,54	26	0,60	25	125	0,53	23	0,56	24	65	0,51	23	0,49	23
451	0,58	27	0,58	25	126	0,55	24	0,56	24	66	0,47	25	0,48	24
452	0,55	24	0,55	26	127	0,51	25	0,53	24	67	0,48	24	0,47	25
453	0,53	24	0,59	25	128	0,53	25	0,52	24	68	0,48	24	0,49	25
454	0,57	24	0,54	25	129	0,58	25	0,54	24	69	0,45	24	0,44	24
455	0,58	23	0,53	25	130	0,56	25	0,57	25	70	0,47	23	0,43	23
456	0,54	23	0,56	25	131	0,57	25	0,57	25	71	0,48	23	0,48	24
457	0,53	23	0,54	26	132	0,54	24	0,54	26	72	0,49	23	0,46	24
458	0,51	24	0,58	26	133	0,55	24	0,54	25	73	0,53	23	0,45	25
459	0,52	23	0,57	24	134	0,55	23	0,54	24	74	0,52	23	0,45	2
460	0,54	24	0,53	24	135	0,54	24	0,55	22	75	0,46	24	0,46	23
461	0,53	23	0,51	23	136	0,55	24	0,53	23	76	0,54	23	0,70	23
462	0,57	24	0,54	23	137	0,61	24	0,56	24	77	0,52	24	0,00	24
463	0,54	24	0,48	23	138	0,56	24	0,57	26	78	0,54	24	0,49	24
464	0,51	23	0,50	23	139	0,55	24	0,55	25	79	0,57	23	0,48	23
465	0,56	22	0,52	24	140	0,56	24	0,61	23	80	0,88	23	0,42	24

Fonte: Elaboração própria.

ANEXO A.3. Avaliação Estrutural

A.3.1 Medida de deflexões

Quadro A.46 – Resultado das medidas de deflexão – segmento monitorado 1.

SEGMENTO 1	Deflexões (0,01 mm)					
	Viga Benkelman		FWD sem nenhuma correção		FWD corrigida por temperatura e transformado a deflexão de viga Benkelman	
	Deflexão janeiro 2012		Deflexão março 2014		Deflexão março 2014	
ESTACA	Faixa Direita	Faixa Esquerda	Faixa Direita	Faixa Esquerda	Faixa Direita	Faixa Esquerda
450	57,6	55,2	24,7	28,2	26,7	31,3
451	56,0	60,8	24,9	23,4	26,8	25,8
452	59,2	58,4	28,9	30,3	31,1	33,6
453	62,4	62,4	27,4	29,3	29,5	32,4
454	56,0	51,2	27,8	28,7	29,9	31,9
455	60,0	56,8	26,7	26,5	28,9	29,4
456	54,4	53,6	25,9	29,2	28,0	32,4
457	58,0	60,8	31,3	32,2	34,1	35,7
458	61,6	57,6	26,2	24,6	28,5	27,2
459	57,6	56,0	24,3	26,0	26,4	28,7
460	60,0	60,0	26,2	23,4	28,5	25,8
461	55,2	58,4	29,1	27,2	31,5	29,9
462	57,6	61,6	24,8	26,1	26,8	28,7
463	54,4	57,6	30,5	37,2	33,2	41,5
464	56,8	52,0	26,4	27,0	28,7	29,7
465	54,4	55,2	26,2	27,9	28,5	30,8

Fonte: Elaboração própria.

Quadro A.47 – Resultado das medidas de deflexão – segmento monitorado 2.

SEGMENTO 2	Deflexões (0,01 mm)					
	Viga Benkelman		FWD sem nenhuma correção		FWD corrigida por temperatura e transformado a deflexão de viga Benkelman	
	Deflexão janeiro 2012		Deflexão março 2014		Deflexão março 2014	
ESTACA	Faixa Direita	Faixa Esquerda	Faixa Direita	Faixa Esquerda	Faixa Direita	Faixa Esquerda
125	56,0	48,0	28,0	31,2	29,9	35,5
126	55,2	51,2	30,8	31,9	32,7	36,3
127	58,4	50,4	37,0	32,4	39,2	36,8
128	60,0	56,0	37,6	41,9	39,9	47,6
129	51,2	54,4	36,9	45,1	39,1	51,3
130	49,6	58,0	36,5	42,3	38,5	48,1
131	55,2	51,2	34,3	42,0	36,4	47,8
132	57,6	49,6	34,5	36,5	36,6	41,3
133	60,0	57,6	28,3	35,6	30,0	40,3
134	53,6	56,0	27,2	33,3	29,0	37,7
135	54,4	53,6	29,4	40,1	31,3	45,4
136	51,2	51,2	28,2	37,4	29,9	42,3
137	52,8	60,8	31,0	44,4	32,9	50,0
138	59,2	57,6	31,2	44,1	33,1	49,7
139	51,2	54,0	25,2	34,6	26,7	39,0
140	50,4	52,0	27,4	34,5	29,1	38,8

Fonte: Elaboração própria.

Quadro A.48 – Resultado das medidas de deflexão – segmento monitorado 3.

SEGMENTO 3	Deflexões (0,01 mm)					
	Viga Benkelman		FWD sem nenhuma correção		FWD corrigida por temperatura e transformado a deflexão de viga Benkelman	
	Deflexão janeiro 2012		Deflexão março 2014		Deflexão março 2014	
ESTACA	Faixa Direita	Faixa Esquerda	Faixa Direita	Faixa Esquerda	Faixa Direita	Faixa Esquerda
65	46,8	47,2	25,9	33,5	27,6	37,4
66	45,6	51,2	25,4	26,0	27,1	28,9
67	49,6	47,2	24,1	27,8	25,7	31,0
68	43,2	43,2	22,6	25,6	24,1	28,4
69	47,2	47,2	21,7	27,5	23,1	30,7
70	45,6	43,2	29,1	29,2	31,2	32,6
71	51,2	48,8	23,4	25,8	25,0	28,8
72	43,2	46,4	24,5	31,2	26,1	34,6
73	46,4	47,2	25,9	25,6	27,6	28,4
74	43,6	46,4	23,1	33,5	24,6	37,2
75	45,6	49,6	24,0	34,3	25,5	38,1
76	42,4	43,2	25,9	33,4	27,5	36,9
77	49,6	48,0	25,3	27,5	26,8	30,2
78	46,4	49,6	22,1	33,2	23,4	36,8
79	46,4	50,4	23,8	27,1	25,1	30,2
80	41,6	48,0	24,3	30,4	25,5	34,9

Fonte: Elaboração própria.

ANEXO B
SEGMENTO MONITORADO DE ITAPOÁ

ANEXO B.1 Contagem de Tráfego

Quadro B.1 – Contagem volumétrica do tráfego SC-416.

Contagem volumétrica classificatória 19/01/2016 (terça-feira)

PERÍODO (hrs)	VEÍCULOS LEVES		ÔNIBUS		CAMINHÕES			SEMI-REBOQUES					REBOQUES					MOTOS	TOTAL
	P	U	2C	3C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	+6 eixos	M	
0 - 1	8	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
1 - 2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
2 - 3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
3 - 4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
4 - 5	6	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	10
5 - 6	20	3	0	0	5	3	0	2	2	8	0	19	0	0	0	2	2	3	69
6 - 7	68	4	2	0	9	6	0	3	4	16	1	27	0	0	0	2	4	8	154
7 - 8	124	12	2	0	9	4	0	2	9	25	2	32	0	0	0	2	0	10	233
8 - 9	181	16	1	0	11	13	2	5	6	28	2	29	0	0	0	4	6	12	316
9 - 10	208	27	2	0	19	14	1	1	1	47	1	47	0	0	0	1	6	10	385
10 - 11	153	31	8	0	12	13	1	4	2	32	0	50	0	0	0	2	7	9	324
11 - 12	158	19	4	0	20	12	1	9	6	27	0	50	0	0	0	2	1	13	322
12 - 13	154	29	5	0	14	8	0	6	4	30	0	50	0	0	0	3	5	12	320
13 - 14	145	36	4	0	18	13	0	8	7	25	0	38	0	0	0	4	5	5	308
14 - 15	163	19	5	0	10	12	0	4	1	29	3	66	0	0	0	3	4	10	329
15 - 16	170	21	1	0	10	16	0	1	1	13	1	49	0	0	0	5	6	6	300
16 - 17	156	34	2	0	10	13	0	1	2	21	2	56	0	0	0	5	7	6	315
17 - 18	156	36	4	0	14	15	0	2	4	27	0	44	0	0	0	1	2	16	321
18 - 19	164	28	2	0	6	5	0	1	1	19	1	23	0	0	0	2	2	10	264
19 - 20	147	25	3	0	4	8	0	2	2	25	1	25	0	0	0	3	1	18	264
20 - 21	85	16	3	0	5	4	0	2	1	17	1	20	0	0	0	2	1	8	165
21 - 22	56	13	1	0	3	6	0	2	1	7	2	14	0	0	0	0	2	4	111
22 - 23	33	8	3	0	1	2	0	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	1	54
23 - 24	17	4	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23
subtotal	2380	382	52	0	182	169	5	55	54	400	17	644	0	0	0	43	61	161	4605
	2762		52		182	174		1274										161	

Fonte: Elaboração própria.

Quadro B.2 – Contagem volumétrica do tráfego SC-416.

Contagem volumétrica classificatória 20/01/2016 (quarta feira)

PERÍODO (hrs)	VEÍCULOS LEVES		ÔNIBUS		CAMINHÕES			SEMI-REBOQUES					REBOQUES					MOTOS	TOTAL
	P	U	2C	3C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	+6 eixos	M	
0 - 1	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
1 - 2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
2 - 3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
3 - 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 - 5	6	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	10
5 - 6	32	3	0	0	4	6	0	0	1	7	0	11	0	0	0	1	1	3	69
6 - 7	75	9	3	0	6	9	0	2	2	17	2	21	0	0	0	3	4	12	165
7 - 8	149	16	4	0	3	14	0	3	1	30	1	30	0	0	0	3	4	10	268
8 - 9	144	30	1	0	7	9	0	2	1	32	2	38	0	0	0	0	1	8	275
9 - 10	173	33	6	0	9	16	0	1	5	22	1	43	0	0	0	2	5	9	325
10 - 11	193	30	2	0	13	11	0	4	2	26	2	41	0	0	0	4	1	12	341
11 - 12	158	22	5	0	16	20	0	5	1	19	0	47	0	0	0	4	1	6	304
12 - 13	141	23	3	0	5	5	0	2	1	30	0	32	0	0	0	3	4	11	260
13 - 14	150	29	4	0	11	14	0	4	2	30	0	49	0	0	0	4	3	16	316
14 - 15	147	22	3	0	11	20	0	4	0	26	0	56	0	0	0	3	2	12	306
15 - 16	137	27	1	0	14	13	0	2	2	29	2	57	0	0	0	3	5	17	309
16 - 17	149	28	3	0	14	15	0	1	7	30	1	58	0	0	0	4	5	11	326
17 - 18	177	36	6	0	11	22	0	1	2	17	0	57	0	0	0	3	4	8	344
18 - 19	158	33	2	0	6	18	0	3	3	31	3	35	0	0	0	2	2	12	308
19 - 20	138	27	2	0	5	7	0	2	1	24	1	45	0	0	0	0	3	7	262
20 - 21	86	18	0	0	5	7	0	2	1	17	1	31	0	0	0	2	2	4	176
21 - 22	46	12	2	0	2	3	0	2	1	9	1	18	0	0	0	0	0	5	101
22 - 23	26	7	1	0	2	2	0	0	0	5	0	8	0	0	0	0	0	2	53
23 - 24	17	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21
TOTAL	2311	412	48	0	145	211	0	40	33	402	17	678	0	0	0	41	47	165	4550
	2723		48		145		211		1258									165	

Fonte: Elaboração própria.

Quadro B.3 – Contagem volumétrica do tráfego SC-416.

Contagem volumétrica classificatória 21/01/2016 (quinta feira)

PERÍODO (hrs)	VEÍCULOS LEVES		ÔNIBUS		CAMINHÕES			SEMI-REBOQUES					REBOQUES					MOTOS	TOTAL
	P	U	2C	3C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	+6 eixos	M	
0 - 1	4	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
1 - 2	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
2 - 3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
3 - 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 - 5	6	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	11
5 - 6	26	3	0	0	5	5	0	1	2	8	0	15	0	0	0	2	2	3	72
6 - 7	32	7	3	0	8	8	0	3	3	17	2	24	0	0	0	3	4	10	124
7 - 8	53	9	0	0	2	8	0	3	1	17	1	19	0	0	0	1	3	5	122
8 - 9	66	19	0	0	6	4	0	1	1	10	0	18	0	0	0	0	0	4	129
9 - 10	86	15	4	0	5	8	0	1	4	15	0	16	0	0	0	2	3	6	165
10 - 11	112	17	1	0	6	5	0	1	2	13	0	16	0	0	0	2	0	6	181
11 - 12	93	16	4	0	8	10	0	4	0	18	0	20	0	0	0	1	0	2	176
12 - 13	104	24	4	0	13	13	0	5	2	26	0	37	0	0	0	3	3	7	241
13 - 14	138	27	4	0	15	14	0	6	3	28	0	54	0	0	0	4	4	10	307
14 - 15	149	19	4	0	11	16	0	4	1	28	2	61	0	0	0	5	5	9	314
15 - 16	156	22	1	0	12	15	0	2	2	21	2	53	0	0	0	4	5	11	306
16 - 17	148	31	3	0	12	14	0	1	5	26	2	57	0	0	0	5	6	9	319
17 - 18	161	36	4	0	13	17	0	2	3	22	0	51	0	0	0	2	3	12	326
18 - 19	157	31	2	0	6	12	0	2	2	25	2	39	0	0	0	2	2	11	293
19 - 20	139	24	3	0	5	7	0	2	2	21	1	24	0	0	0	2	2	8	240
20 - 21	83	15	2	0	5	6	0	2	1	17	1	23	0	0	0	2	2	6	165
21 - 22	49	14	2	0	3	5	0	2	1	8	2	12	0	0	0	0	1	4	103
22 - 23	27	8	2	0	2	2	0	0	0	4	0	6	0	0	0	0	0	2	53
23 - 24	15	4	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21
TOTAL	1808	344	43	0	139	171	0	42	35	325	15	547	0	0	0	40	45	125	3679
	2152		43		139		171		1049									125	

Fonte: Elaboração própria

ANEXO B.2 Avaliação Funcional

B.2.1 Levantamento de defeitos

Quadro B.4 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2012 – Faixa Direita.

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																										
RODOVIA SC-416 ITAPOÁ										OPERADOR: Laboratório de Pavimentação da UFSC																
TRECHO: Segmento monitorado 1										REVESTIMENTO TIPO Asfalto-borracha e= 6cm.																
DATA: Julho/2012										ESTACA INICIAL 1170+00					ESTACA FINAL 1185+00					FAIXA Direita						
Estaca	Seção Terrap	OK	TRINCAS										AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRL RODAS		Observação	
			ISOLADAS						INTERLIGADAS				PLÁSTICO		CONS.		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI (mm)	TRE (mm)		
			F1 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	FC-2		FC-3		ALP 4	ATP 4	ALC 4	ATC 4										
									J 2	TB 2	JE 3	TBE 3														
1170+00																									0	
1171+00																									0	
1172+00																									0	
1173+00																									1	
1174+00																									2	
1175+00																									1	
1176+00																									0	
1177+00																									0	
1178+00																									1	
1179+00																									0	
1180+00																									0	
1181+00																									1	
1181+08											x															A=0,6x0,7 m.
1181+15											x															A=0,8x2,3 m.
1182+00																									0	
1183+00																									1	
1184+00																									1	
1185+00																									1	

Fonte: Elaboração própria.

Quadro B.5 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2012 – Faixa Esquerda.

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																									
RODOVIA: SC-416 ITAPOÁ			OPERADOR: Laboratório de Pavimentação da UFSC																						
TRECHO: Segmento monitorado 1			REVESTIMENTO TIPO Asfalto-borracha e= 6cm.																						
DATA: Julho/2012			ESTACA INICIAL 1185+00				ESTACA FINAL 1170+00				FAIXA Esquerda														
Estaca	Seção Terrap	OK	TRINCAS										AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRI. RODAS		Observação
			ISOLADAS						INTERLIGADAS				PLÁSTICO		CONS.		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI (mm)	TRE (mm)	
			F1 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	FC-2		FC-3		ALP 4	ATP 4	ALC 4	ATC 4									
									J 2	TB 2	JE 3	TBE 3													
1185+00																								1	
1184+00																								0	
1183+00																								1	
1182+00																								2	
1181+00																								1	
1180+00																								0	
1179+00																								1	
1178+00																								1	
1178+14										x														A=0,2x0,2m.	
1177+13										x														A=0,4x0,5m.	
1177+09										x														A=0,4x0,5m.Indício de bombeamento	
1177+00																								0	
1176+00																								0	
1175+00																								1	
1174+01										x														A=0,7x2,4m.	
1174+00																								1	
1173+00																								2	
1172+01										x														A=0,2x0,3m.	
1172+00																								2	
1171+19										x														A=0,3x0,5m.	
1171+06						x																		Trinca de 0,6 m.	
1171+00																								2	
1170+00																								0	

Fonte: Elaboração própria.

Quadro B.6 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2015 – Faixa Direita.

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																										
RODOVIA: SC-416 ITAPOÁ			OPERADOR: Laboratório de Pavimentação da UFSC																							
TRECHO: Segmento monitorado 1			REVESTIMENTO TIPO: Asfalto-borracha e= 6cm.																							
DATA: 28/03/2015			ESTACA INICIAL 1170+00										ESTACA FINAL 1185+00										FAIXA Direita			
Estaca	Seção Terrap.	OK	TRINCAS								AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRI RODAS		Observação			
			ISOLADAS					INTERLIGADAS			PLÁSTICO		CONS.		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI (mm)	TRE (mm)				
			FI 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	J 2	TB 2	JE 3	TBE 3	ALP 4	ATP 4										ALC 4	ATC 4	
1170+00				x																				9	A= 1,3x9,6 m.	
1170+00										x																A= 0,8x4,2 m.
1170+5,0				x																						A= 0,9x2,1 m.
1170+10,0							x																			A= 0,9x2,3 m.
1170+15,0							x																			A= 0,9x4,6 m.
1170+17,0				x																						A= 0,4x1,6 m.
1171+00							x																	7		A= 0,8x5,9 m.
1171+00										x																A= 1,0x3,3 m.
1171+3,80				x																						A= 0,5x1,6 m.
1171+6,0							x																			A= 0,9x9,1 m.
1172+00							x																	3		A= 0,5x3,1 m.
1172+4,7				x																						A= 0,4x2,4 m.
1172+9,4				x																						A= 0,3x2,3 m.
1172+12,7																						x				A= 0,9x2,4 m.
1172+15,4				x																						A= 0,9x4,0 m.
1172+16,0							x																			A= 0,7x3,1 m.
1173+00																								4		
1174+00				x																				3		A= 0,8x4,0 m.
1174+2,0							x																			A= 1,4x2,5m.
1174+4,7				x																						A= 0,7x1,5 m.
1174+19,0				x																						A= 0,5x1,7 m.
1175+00																								5		
1175+11,0							x																			A= 0,6x9,0 m.
1176+00				x																				3		A= 0,6x0,6 m.
1176+13,4							x																			A= 0,9x1,5 m.
1176+15,4				x																						A= 0,6x0,5 m.

Fonte: Elaboração própria.

Quadro B.7 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2015 – Faixa Direita (continuação).

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																									
RODOVIA: SC-416 ITAPOÁ			OPERADOR: Laboratório de Pavimentação da UFSC																						
TRECHO: Segmento monitorado 1			REVESTIMENTO TIPO: Asfalto-borracha e= 6cm.																						
DATA: 28/03/2015			ESTACA INICIAL				1170+00				ESTACA FINAL				1185+00				FAIXA		Direita				
Estaca	Seção Terrap.	OK	TRINCAS								AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRL RODAS		Observação		
			ISOLADAS					INTERLIGADAS			PLÁSTICO		CONS.		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI (mm)	TRE (mm)			
			FI 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	FC-2		FC-3		ALP 4	ATP 4										ALC 4	ATC 4
								J 2	TB 2	JE 3	TBE 3														
1176+16,0																									A= 1,2x2,5 m.
1176+16,7				x																					A= 0,6x1,0 m.
1177+00				x																			2		A= 0,7x0,9 m.
1177+00										x															A= 0,7x1,0 m.
1177+2,7				x																					A= 0,5x1,0 m.
1177+6,0				x																					A= 0,5x1,5 m.
1177+6,7				x																					A= 0,2x0,5 m.
1177+7,5				x																					A=0,25x0,25m
1177+13,4							x																		A= 0,2x1,3 m.
1178+00																							4		
1178+16,0				x																					A= 0,4x2,3 m.
1179+00							x																2		A= 1,5x1,4 m.
1179+1,0							x																		A= 0,5x1,5 m.
1179+3,4							x																		A= 1,1x4,7 m.
1179+5,4				x																					A= 0,4x0,5 m.
1179+6,7										x															A= 0,2x0,5 m.
1179+7,4				x																					A= 0,4x0,5 m.
1179+9,4							x																		A= 0,4x1,2 m.
1179+13,4				x																					A= 0,9x0,9 m.
1179+14,0										x															A= 0,9x2,8 m.
1179+18,0							x																		A= 0,6x2,7 m.
1180+00				x																			4		A= 0,4x0,5 m.
1180+12,7				x																					A= 0,8x7,7 m.
1181+00																							6		
1181+0,4							x																		A= 0,7x4,6 m.
1181+6,0				x																					A= 0,5x0,5 m.

Fonte: Elaboração própria.

Quadro B.8 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2015 – Faixa Direita (continuação).

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																									
RODOVIA: SC-416 ITAPOÁ				OPERADOR: Laboratório de Pavimentação da UFSC																					
TRECHO: Segmento monitorado 1				REVESTIMENTO TIPO: Asfalto-borracha e= 6cm.																					
DATA: 28/03/2015				ESTACA INICIAL 1170+00 ESTACA FINAL 1185+00				FAIXA Direita																	
Estaca	Seção Terrap.	OK	TRINCAS								AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRL RODAS		Observação		
			ISOLADAS						INTERLIGADAS		PLÁSTICO		CONS.		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI (mm)	TRE (mm)			
			F1 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	FC-2		FC-3		ALP 4	ATP 4										ALC 4	ATC 4
									J 2	TB 2	JE 3	TBE 3													
1181+7,4				x																				A= 0,5x0,5 m.	
1181+8,7			x																						A= 0,2x0,3 m.
1181+9,4			x																						A= 0,2x0,3 m.
1181+10,7						x																			A= 0,5x3,1 m.
1181+12,7										x															A= 0,9x1,4 m.
1181+14,0				x																					A= 0,8x1,0 m.
1181+15,4				x																					A= 0,5x0,5 m.
1181+16,7										x															A= 0,9x2,4 m.
1181+17,4			x																						A= 0,2x0,7 m.
1181+18,0						x																			A= 0,4x0,8 m.
1181+18,7			x																						A= 0,2x0,5 m.
1182+00			x																			7			A= 0,2x0,6 m.
1182+00										x															A= 0,9x2,6 m.
1182+0,7						x																			A= 0,2x0,4 m.
1182+2,7						x																			A= 0,3x0,7 m.
1182+3,4						x																			A= 0,5x1,1 m.
1182+4,0						x																			A= 0,5x0,8 m.
1182+5,4			x																						A= 0,2x0,5 m.
1182+6,0			x																						A= 0,2x0,4 m.
1182+6,0			x																						A= 0,2x0,5 m.
1182+6,7						x																			A= 0,4x1,4 m.
1182+8,7											x														A= 1,4x10,3 m.
1182+10,7				x																					A= 1,2x2,3 m.
1182+14,7										x															A= 0,5x1,2 m.
1183+00																						9			
1183+0,4						x																			A= 0,5x2,4 m.

Fonte: Elaboração própria.

Quadro B.9 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2015 – Faixa Direita (continuação).

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																										
RODOVIA: SC-416 ITAPOÁ				OPERADOR: Laboratório de Pavimentação da UFSC																						
TRECHO: Segmento monitorado 1				REVESTIMENTO TIPO: Asfalto-borracha e= 6cm.																						
DATA: 28/03/2015				ESTACA INICIAL				1170+00				ESTACA FINAL				1185+00				FAIXA		Direita				
Estaca	Seção Terrap.	OK	TRINCAS								AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRL RODAS		Observação			
			ISOLADAS						INTERLIGADAS				PLÁSTICO		CONS.		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8		TRI (mm)	TRE (mm)	
			F1 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	FC-2		FC-3		ALP 4	ATP 4	ALC 4	ATC 4										
									J 2	TB 2	JE 3	TBE 3														
1181+17,4			x																						A= 0,2x0,7 m.	
1181+18,0							x																			A= 0,4x0,8 m.
1181+18,7			x																							A= 0,2x0,5 m.
1182+00			x																					7		A= 0,2x0,6 m.
1182+00											x															A= 0,9x2,6 m.
1182+0,7							x																			A= 0,2x0,4 m.
1182+2,7							x																			A= 0,3x0,7 m.
1182+3,4							x																			A= 0,5x1,1 m.
1182+4,0							x																			A= 0,5x0,8 m.
1182+5,4			x																							A= 0,2x0,5 m.
1182+6,0			x																							A= 0,2x0,4 m.
1182+6,0			x																							A= 0,2x0,5 m.
1182+6,7							x																			A= 0,4x1,4 m.
1182+8,7												x														A= 1,4x10,3 m.
1182+10,7				x																						A= 1,2x2,3 m.
1182+14,7											x															A= 0,5x1,2 m.
1183+00																								9		
1183+0,4							x																			A= 0,5x2,4 m.
1183+2,0							x																			A= 0,5x0,9 m.
1183+3,4							x																			A= 0,6x4,0 m.

Fonte: Elaboração própria.

Quadro B.10 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2015 – Faixa Direita (continuação).

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																									
RODOVIA: SC-416 ITAPOÁ			OPERADOR: Laboratório de Pavimentação da UFSC																						
TRECHO: Segmento monitorado 1			REVESTIMENTO TIPO: Asfalto-borracha e= 6cm.																						
DATA: 28/03/2015			ESTACA INICIAL 1170+00								ESTACA FINAL 1185+00								FAIXA Direita						
Estaca	Seção Terrap.	OK	TRINCAS								AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRL RODAS		Observação		
			ISOLADAS						INTERLIGADAS		PLÁSTICO		CONS.		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI (mm)	TRE (mm)			
			FI 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	FC-2		FC-3		ALP 4	ATP 4										ALC 4	ATC 4
									J 2	TB 2	JE 3	TBE 3													
1183+2,0						x																			A= 0,5x0,9 m.
1183+3,4						x																			A= 0,6x4,0 m.
1183+4,0			x																						A= 0,2x0,5 m.
1183+5,4						x																			A= 0,5x0,7 m.
1183+6,7			x																						A= 0,2x0,5 m.
1183+9,4				x																					A= 0,4x0,5 m.
1183+12,0			x																						A= 0,2x0,3 m.
1183+14,0				x																					A= 0,5x0,5 m.
1183+15,4						x																			A= 0,4x2,4 m.
1183+18,0			x																						A= 0,2x0,6 m.
1184+00						x																	8		A= 0,3x0,5 m.
1184+00						x																			A= 0,3x0,6 m.
1184+4,0						x																			A= 0,4x1,2 m.
1184+5,4			x																						A= 0,2x0,4 m.
1184+18,0						x																			A= 0,5x0,8 m.
1185+00																								3	

Fonte: Elaboração própria.

Quadro B.11 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2015 – Faixa Esquerda.

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																									
RODOVIA: SC-416 ITAPOÁ										OPERADOR: Laboratório de Pavimentação da UFSC															
TRECHO: Segmento monitorado 1										REVESTIMENTO TIPO: Asfalto-borracha e= 6cm.															
DATA: 28/03/2015										ESTACA INICIAL 1185+00					ESTACA FINAL 1170+00					FAIXA Esquerda					
Estaca	Seção Terrap	OK	TRINCAS								AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRI RODAS		Observação		
			ISOLADAS						INTERLIGADAS		PLÁSTICO		CONS.		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI (mm)	TRE (mm)			
			FI 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	FC-2		FC-3		ALP 4	ATP 4										ALC 4	ATC 4
									J 2	TB 2	JE 3	TBE 3													
1185+00																								4	
1184+00																								3	
1183+16,0						x																			A= 0,8x2,4 m.
1183+15,5						x																			A= 0,6x2,7 m.
1183+5,7				x																					A= 0,4x0,7 m.
1183+3,3				x																					A= 0,6x1,4 m.
1183+0,6						x																			A= 0,5x1,1 m.
1183+00																								8	
1182+11,2						x																			A= 0,6x0,9 m.
1182+00																								7	
1181+00																								5	
1180+18,0			x																						A= 0,3x0,3 m.
1180+00																								3	
1179+00																								3	
1178+00																								3	
1177+12,6				x																					A= 0,6x0,9 m.
1177+8,8				x																					A= 0,5x2,7 m.
1177+7,8				x																					A= 0,4x2,1 m.
1177+4,5						x																			A= 1,5x3,0 m.
1177+4,4						x																			A= 0,6x2,4 m.
1177+00																								3	

Fonte: Elaboração própria.

Quadro B.12 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2015 – Faixa Esquerda (continuação).

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																												
RODOVIA: SC-416 ITAPOÁ										OPERADOR: Laboratório de Pavimentação da UFSC																		
TRECHO: Segmento monitorado 1										REVESTIMENTO TIPO: Asfalto-borracha e= 6cm.																		
DATA: 28/03/2015										ESTACA INICIAL 1185+00								ESTACA FINAL 1170+00				FAIXA Esquerda						
Estaca	Seção Terrap	OK	TRINCAS								AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRI RODAS		Observação					
			ISOLADAS					INTERLIGADAS			PLÁSTICO		CONS.		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI (mm)	TRE (mm)						
			F1 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	FC-2		FC-3	ALP 4	ATP 4	ALC 4										ATC 4				
									J 2	TB 2	JE 3														TBE 3			
1176+00																								1				
1175+8,2						x																			A= 0,4x1,2 m.			
1175+3,9						x																			A= 0,6x2,1 m.			
1175+2,9						x																			A= 0,3x0,5 m.			
1175+00																								1				
1174+14,6										x	x														A= 0,5x2,5 m.			
1174+11,1										x	x														A= 1,4x9,7 m.			
1174+8,9				x																					A= 0,6x0,5 m.			
1174+00																								1				
1173+2,0										x	x														A= 3,8x1,6 m.			
1173+00																								4				
1172+00																								3	A= 0,4x0,6 m.			
1171+15,0											x														A= 1,5x7,8 m.			
1171+00											x													3				
1170+18,0										x															A= 1,0x1,0 m.			
1170+10,2				x																					A= 0,3x0,6 m.			
1170+4,2						x																			A= 0,5x2,0 m.			
1170+00																								2				

Fonte: Elaboração própria.

Quadro B.13 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2016 – Faixa Direita.

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																										
RODOVIA: SC-416 ITAPOÁ										OPERADOR: Laboratório de Pavimentação da UFSC																
TRECHO: Segmento monitorado 1										REVESTIMENTO TIPO: Asfalto-borracha e= 6cm.																
DATA: 20/02/2016										ESTACA INICIAL 1170+00					ESTACA FINAL 1185+00					FAIXA Direita						
Estaca	Seção Terrap.	OK	TRINCAS								AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRI RODAS		Observação			
			ISOLADAS					INTERLIGADAS			PLÁSTICO		CONS.		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI (mm)	TRE (mm)				
			F1 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	FC-2		FC-3	ALP 4	ATP 4	ALC 4										ATC 4		
									J 2	TB 2	JE 3														TBE 3	
1170+00			x																					11,5	A = 0,4x0,5 m.	
1170+0,5										x																A = 1,1x5,16 m.
1170+0,5										x																A = 0,7x1,2 m.
1170+1,7										x																A = 0,8x2,9 m.
1170+3,10										x																A = 1,1x2,0 m.
1170+5,10										x																A = 1,2x5,8 m.
1170+5,7										x																A = 0,9x0,9 m.
1170+6,6							x																			A = 0,2x0,6 m.
1170+7,7							x																			A = 0,2x0,4 m.
1170+8,3							x																			A = 0,2x0,3 m.
1170+9,0							x																			A = 0,2x0,4 m.
1170+9,2							x																			A = 0,2x0,5 m.
1170+9,7							x																			A = 0,2x0,4 m.
1170+9,9							x																			A = 0,2x0,7 m.
1170+10,2							x																			A = 0,2x0,3 m.
1170+11,2										x																A = 1,1x7,1 m.
1170+11,6							x																			A = 0,2x0,6 m.
1170+12,5							x																			A = 0,2x0,3 m.
1170+13,5					x																					A = 0,2x0,2 m.
1170+14,8										x																A = 0,4x1,3 m.
1170+17,3										x																A = 0,7x2,6 m.

Fonte: Elaboração própria.

Quadro B.14 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2016 – Faixa Direita (continuação).

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																									
RODOVIA: SC-416 ITAPOÁ			OPERADOR: Laboratório de Pavimentação da UFSC																						
TRECHO: Segmento monitorado 1			REVESTIMENTO TIPO: Asfalto-borracha e=6cm.																						
DATA: 20/02/2016			ESTACA INICIAL										1170+00 ESTACA FINAL					1185+00		FAIXA		Direita			
Estaca	Seção Terrap.	OK	TRINCAS								AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRI. RODAS		Observação		
			ISOLADAS						INTERLIGADAS		PLÁSTICO		CONS.		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI (mm)	TRE (mm)			
			FI 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	FC-2		FC-3		ALP 4	ATP 4										ALC 4	ATC 4
									J 2	TB 2	JE 3	TBE 3													
1170+19,0																								A = 1,0x1,1 m.	
1171+00			x																				8,5	A = 0,8x2,6 m.	
1171+3,5										x														A = 0,5x3,2 m.	
1171+4,0							x																	A = 0,3x1,8 m.	
1171+7,8										x														A = 1,0x3,6 m.	
1171+10,4				x																				A = 0,2x0,2 m.	
1171+10,8							x																	A = 0,5x1,5 m.	
1171+11,0							x																	A = 0,5x1,8 m.	
1171+11,3							x																	A = 0,5x0,3 m.	
1171+11,6							x																	A = 0,5x0,3 m.	
1171+11,9							x																	A = 0,5x0,3 m.	
1171+12,1				x																				A = 0,5x2,2 m.	
1171+14,2										x														A = 0,5x0,5 m.	
1171+14,4												x												A = 0,5x1,6 m.	
1171+7,6							x																	A = 0,6x1,5 m.	
1171+8,3							x																	A = 0,7x1,5 m.	
1171+9,0										x														A = 0,8x1,4 m.	
1171+10,0							x																	A = 0,8x0,5 m.	
1171+10,4							x																	A = 0,5x0,5 m.	
1171+11,7									x															A = 0,5x2,8 m.	
1171+12,1							x																	A = 0,5x0,4 m.	
1171+12,5							x																	A = 0,5x4,4 m.	
1172+00												x											3,5		
1172+1,6									x															A = 0,4x2,90m.	
1172+4,3							x																	A = 0,5x4,2 m.	
1172+8,5									x															A = 0,5x2,5 m.	

Fonte: Elaboração própria.

Quadro B.15 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2016 – Faixa Direita (continuação).

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																							
RODOVIA: SC-416 ITAPOÁ			OPERADOR: Laboratório de Pavimentação da UFSC																				
TRECHO: Segmento monitorado 1			REVESTIMENTO TIPO: Asfalto-borracha e= 6cm.																				
DATA: 20/02/2016			ESTACA INICIAL 1170+00										ESTACA FINAL 1185+00				FAIXA		Direita				
Estaca	Seção Terrap.	OK	TRINCAS								AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFETOS						TRI. RODAS		Observação
			ISOLADAS				INTERLIGADAS				PLÁSTICO		CONS.		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI (mm)	TRE (mm)	
			FI 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	FC-2 J 2	FC-3 TB 2	FC-3 JE 3	FC-3 TBE 3	ALP 4	ATP 4									
1172+9,3							x																A = 0,5x2,0 m.
1172+13,8																				x			A = 0,9x2,2 m.
1172+14,0						x																	A = 0,9x4,6 m.
1172+19,0				x																			A = 0,9x1,4 m.
1172+19,5																				x			A = 0,9x1,5 m.
1173+00							x															6,5	A = 0,9x2,4 m.
1173+3,3									x														A = 0,2x0,5 m.
1173+4,0									x														A = 1,3x0,9 m.
1173+10,3					x																		A = 1,2x0,5 m.
1173+13,7				x																			A = 0,2x0,2 m.
1173+15,0				x																			A = 0,2x0,4 m.
1173+15,4						x																	A = 0,2x0,5 m.
1173+15,7									x														A = 0,2x0,5 m.
1173+16,7									x														A = 0,9x3,4 m.
1173+18,0									x														A = 1,0x1,6 m.
1174+00									x													4,5	A = 1,0x6,2 m.
1174+00									x														A = 1,4x6,0 m.
1174+6,5						x																	A = 0,5x0,7 m.
1174+11,0			x																				A = 0,6x1,9 m.
1174+13,0				x																			A = 0,3x0,3 m.
1174+13,5			x																				A = 0,2x0,2 m.
1174+17,0			x																				A = 0,6x3,7 m.
1175+00				x																		5,0	A = 0,5x0,2 m.
1175+0,2			x																				A = 0,5x0,2 m.
1175+1,0			x																				A = 0,4x0,6 m.
1175+5,3			x																				A = 0,3x0,7 m.

Fonte: Elaboração própria.

Quadro B.16 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2016 – Faixa Direita (continuação).

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																										
RODOVIA: SC-416 ITAPOÁ			OPERADOR: Laboratório de Pavimentação da UFSC																							
TRECHO: Segmento monitorado 1			REVESTIMENTO TIPO: Asfalto-borracha e=6cm.																							
DATA: 20/02/2016			ESTACA INICIAL 1170+00										ESTACA FINAL 1185+00				FAIXA		Direita							
Estaca	Seção Terrap.	OK	TRINCAS								AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRI. RODAS		Observação			
			ISOLADAS						INTERLIGADAS		PLÁSTICO		CONS.		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI (mm)	TRE (mm)				
			FI 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	FC-2		FC-3		ALP 4	ATP 4										ALC 4	ATC 4	
									J 2	TB 2	JE 3	TBE 3														
1175+7,0			x																						A = 0,2x0,7 m.	
1175+8,4			x																							A = 0,4x1,8 m.
1175+11,8										x																A = 0,4x2,3 m.
1175+14,2			x																							A = 0,7x2,4 m.
1175+17,2							x																			A = 0,6x2,8 m.
1176+00			x																					3,5		
1176+1,2			x																							A = 0,2x1,5 m.
1176+14,2			x																							A = 0,9x1,5 m.
1176+15,7										x																A = 0,6x3,7 m.
1176+16,6												x														A = 1,2x2,5 m.
1176+19,3			x																							A = 0,5x2,0 m.
1177+00			x																					2,5		
1177+2,4							x																			A = 0,7x2,4 m.
1177+5,2						x																				A = 1,2x0,6 m.
1177+7,5			x																							A = 0,5x0,7 m.
1177+8,8				x																						A = 0,2x0,4 m.
1177+10,0			x																							A = 0,4x0,4 m.
1177+10,8			x																							A = 0,4x0,6 m.
1177+11,5			x																							A = 0,4x0,2 m.
1177+11,6				x																						A = 0,3x0,2 m.
1177+12,4			x																							A = 0,4x1,1 m.
1177+18,0			x																							A = 0,3x0,4 m.
1178+00			x																					4,5		
1178+0,5			x																							A = 0,6x0,6 m.
1178+2,4				x																						A = 0,4x0,5 m.
1178+4,3				x																						A = 0,4x0,2 m.

Fonte: Elaboração própria.

Quadro B.17 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2016 – Faixa Direita (continuação).

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																										
RODOVIA: SC-416 ITAPOÁ			OPERADOR: Laboratório de Pavimentação da UFSC																							
TRECHO: Segmento monitorado 1			REVESTIMENTO TIPO: Asfalto-borracha e= 6cm.																							
DATA: 20/02/2016			ESTACA INICIAL 1170+00										ESTACA FINAL 1185+00					FAIXA		Direita						
Estaca	Seção Terrap.	OK	TRINCAS										AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRI. RODAS		Observação	
			ISOLADAS						INTERLIGADAS				PLÁSTICO		CONS.		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI (mm)	TRE (mm)		
			F1 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	FC-2 J 2	FC-2 TB 2	FC-3 JE 3	FC-3 TBE 3	ALP 4	ATP 4	ALC 4	ATC 4										
1178+11,1			x																							A = 0,4x0,4 m.
1178+16,4			x																							A = 0,4x1,8 m.
1178+18,8			x																							A = 0,4x0,2 m.
1178+19,6			x																							A = 0,4x0,2 m.
1179+00																								4,0		
1179+0,3			x																							A = 1,6x2,8 m.
1179+3,0			x																							A = 0,5x0,2 m.
1179+3,1																										A = 1,1x1,5 m.
1179+4,2											x															A = 0,5x0,4 m.
1179+4,9					x																					A = 0,9x0,4 m.
1179+6,4										x																A = 0,5x0,2 m.
1179+6,8							x																			A = 0,4x1,4 m.
1179+7,6			x																							A = 1,0x0,2 m.
1179+9,1					x																					A = 0,9x1,2 m.
1179+11,5			x																							A = 0,5x0,3 m.
1179+12,4				x																						A = 0,6x0,4 m.
1179+13,0			x																							A = 0,8x2,5 m.
1179+17,0			x																							A = 0,9x0,6 m.
1179+17,5									x																	A = 0,9x3,2 m.
1179+18,3			x																							A = 0,6x2,2 m.
1180+00			x																					6,0		
1180+00			x																							A = 0,5x0,2 m.
1180+6,0			x																							A = 0,7x0,4 m.
1180+6,5			x																							A = 0,5x0,4 m.
1180+7,1			x																							A = 0,2x0,4 m.
1180+10,4									x																	A = 1,0x0,6 m.

Fonte: Elaboração própria.

Quadro B.18 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2016 – Faixa Direita (continuação).

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																									
RODOVIA: SC-416 ITAPOÁ			OPERADOR: Laboratório de Pavimentação da UFSC																						
TRECHO: Segmento monitorado 1			REVESTIMENTO TIPO: Asfalto-borracha e=6cm.																						
DATA: 20/02/2016			ESTACA INICIAL 1170+00										ESTACA FINAL 1185+00					FAIXA		Direita					
Estaca	Seção Terrap.	OK	TRINCAS								AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRL RODAS		Observação		
			ISOLADAS				INTERLIGADAS				PLÁSTICO		CONS.		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI (mm)	TRE (mm)			
			FI 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	FC-2		FC-3		ALP 4	ATP 4										ALC 4	ATC 4
									J 2	TB 2	JE 3	TBE 3													
1180+12,0				x																			A = 0,4x0,8 m.		
1180+13,3				x																			A = 0,8x0,8 m.		
1180+14,0				x																			A = 0,7x0,8 m.		
1180+14,9								x															A = 0,8x2,1 m.		
1180+15,2			x																				A = 0,8x1,2 m.		
1180+16,6			x																				A = 1,2x0,8 m.		
1180+17,8				x																			A = 0,5x0,6 m.		
1180+17,8			x																				A = 0,4x0,8 m.		
1180+18,6			x																				A = 0,3x0,8 m.		
1180+19,0				x																			A = 0,5x0,8 m.		
1180+19,3				x																			A = 0,4x0,8 m.		
1180+19,5				x																			A = 0,4x0,8 m.		
1180+19,8			x																				A = 0,3x0,8 m.		
1181+00								x														8,0	A = 0,8x7,3 m.		
1181+00				x																			A = 0,2x0,2 m.		
1181+5,7				x																			A = 0,4x0,6 m.		
1181+8,1			x																				A = 0,3x0,2 m.		
1181+8,5			x																				A = 0,5x0,7 m.		
1181+9,4			x																				A = 0,4x0,7 m.		
1181+10,1									x														A = 0,2x0,2 m.		
1181+10,4				x																			A = 0,9x0,6 m.		
1181+11,9			x																				A = 0,2x0,2 m.		
1181+12,5												x											A = 0,2x0,4 m.		
1181+13,0												x											A = 0,5x0,4 m.		
1181+13,5				x																			A = 0,9x0,6 m.		
1181+14,0									x														A = 0,4x0,3 m.		

Fonte: Elaboração própria.

Quadro B.19 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2016 – Faixa Direita (continuação).

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																										
RODOVIA: SC-416 ITAPOÁ			OPERADOR: Laboratório de Pavimentação da UFSC																							
TRECHO: Segmento monitorado 1			REVESTIMENTO TIPO: Asfalto-borracha e= 6cm.																							
DATA: 20/02/2016			ESTACA INICIAL 1170+00										ESTACA FINAL 1185+00				FAIXA Direita									
Estaca	Seção Terrap.	OK	TRINCAS										AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFETOS						TRI. RODAS		Observação	
			ISOLADAS						INTERLIGADAS				PLÁSTICO		CONS.		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI (mm)	TRE (mm)		
			FI 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	FC-2		FC-3		ALP 4	ATP 4	ALC 4	ATC 4										
									J 2	TB 2	JE 3	TBE 3														
1181+14,2			x																							A = 0,7x0,4 m.
1181+15,0				x																						A = 0,7x0,2 m.
1181+15,2			x																							A = 1,2x0,6 m.
1181+16,0			x																							A = 0,6x0,2 m.
1181+16,9												x														A = 0,3x0,7 m.
1181+17,2			x																							A = 0,5x0,4 m.
1181+17,2										x																A = 1,0x2,8 m.
1181+18,2				x																						A = 1,0x0,6 m.
1181+19,0				x																						A = 0,3x0,2 m.
1181+19,3				x																						A = 0,3x0,2 m.
1182+00												x												10,0		A = 1,0x5,0 m.
1182+3,9			x																							A = 0,4x0,7 m.
1182+5,0			x																							A = 0,6x0,8 m.
1182+5,7			x																							A = 0,4x2,1 m.
1182+8,2												x														A = 0,6x0,3 m.
1182+9,0												x														A = 0,5x0,2 m.
1182+9,5					x																					A = 0,8x0,2 m.
1182+10,3												x														A = 1,3x9,7 m.
1182+10,5											x															A = 0,9x0,2 m.
1182+12,0											x															A = 0,5x4,2 m.
1182+16,0			x																							A = 0,5x4,2 m.
1183+00			x																					11,0		A = 0,5x2,5 m.
1183+0,5			x																							A = 0,6x0,2 m.
1183+1,7			x																							A = 0,5x2,0 m.
1183+4,3			x																							A = 0,6x1,3 m.
1183+5,0			x																							A = 0,4x0,6 m.

Fonte: Elaboração própria.

Quadro B.20 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2016 – Faixa Direita (continuação).

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																										
RODOVIA: SC-416 ITAPOÁ										OPERADOR: Laboratório de Pavimentação da UFSC																
TRECHO: Segmento monitorado 1										REVESTIMENTO TIPO: Asfalto-borracha e= 6cm.																
DATA: 20/02/2016										ESTACA INICIAL 1170+00				ESTACA FINAL 1185+00				FAIXA Direita								
Estaca	Seção Terrap.	OK	TRINCAS										AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRI. RODAS		Observação	
			ISOLADAS						INTERLIGADAS				PLÁSTICO		CONS.		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI (mm)	TRE (mm)		
			FI 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	FC-2		FC-3		ALP 4	ATP 4	ALC 4	ATC 4										
									J 2	TB 2	JE 3	TBE 3														
1183+6,8			x																							A = 0,9x0,3 m.
1183+9,1			x																							A = 0,4x0,8 m.
1183+10,8			x																							A = 0,6x0,2 m.
1183+11,8			x																							A = 0,2x0,2 m.
1183+12,2			x																							A = 0,5x0,5 m.
1183+12,5			x																							A = 0,8x0,4 m.
1183+13,7			x																							A = 1,0x0,4 m.
1183+14,8			x																							A = 0,5x0,2 m.
1183+15,0			x																							A = 0,5x3,9 m.
1183+16,0			x																							A = 0,4x0,2 m.
1183+19,0			x																							A = 0,3x0,2 m.
1183+19,3			x																							A = 0,7x0,2 m.
1184+00			x																						9,5	A = 0,2x0,7 m.
1184+00			x																							A = 1,1x0,3 m.
1184+2,7			x																							A = 0,4x2,2 m.
1184+5,3			x																							A = 0,2x0,6 m.
1184+10,2			x																							A = 0,2x0,2 m.
1184+10,6			x																							A = 0,2x0,2 m.
1184+13,0			x																							A = 0,2x0,3 m.
1184+14,7			x																							A = 0,2x0,2 m.
1185+00			x																						4,0	A = 0,2x0,5 m.
1185+00			x																							A = 0,3x0,5 m.

Fonte: Elaboração própria.

Quadro B.21 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2016 – Faixa Esquerda.

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																									
RODOVIA: SC-416 ITAPOÁ										OPERADOR: Laboratório de Pavimentação da UFSC															
TRECHO: Segmento monitorado 1										REVESTIMENTO TIPO: Asfalto-borracha e= 6cm.															
DATA: 20/02/2016										ESTACA INICIAL 1185+00					ESTACA FINAL 1170+00					FAIXA Esquerda					
Estaca	Seção Terrap	OK	TRINCAS								AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRI. RODAS		Observação		
			ISOLADAS					INTERLIGADAS			PLÁSTICO		CONS.		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI (mm)	TRE (mm)			
			FI 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	FC-2		FC-3		ALP 4	ATP 4										ALC 4	ATC 4
									J 2	TB 2	JE 3	TBE 3													
1185+00																								7,0	
1184+19,6			x																						A=0,2x0,4m.
1184+19,1			x																						A=0,1x0,1m.
1184+19,0			x																						A=0,2x0,2
1184+15,9			x																						A=0,4x0,2m.
1184+14,2			x																						A=0,2x0,2m.
1184+12,6			x																						A= 2x0,6m.
1184+5,3			x																						A=0,4x0,8m.
1184+4,3			x																						A=0,4x0,2m.
1184+3,2			x																						A=0,2x0,6m.
1184+1,3			x																						A=0,2x0,2m.
1184+0,4			x																						A=0,3x2,1
1184+0,3			x																						A=0,5x0,2m.
1184+00																								7,0	
1183+18,5			x																						A=0,2x1,1m.
1183+17,7			x																						A=0,2x2,3m.
1183+16,7			x																						A=0,8x2,4m.
1183+15,7			x																						A=0,6x2,7m.
1183+15,0			x																						A=0,2x1,3m.
1183+13,2			x																						A=0,2x1,6m.
1183+13,1			x																						A=0,2x1,3m.

Fonte: Elaboração própria.

Quadro B.22 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2016 – Faixa Esquerda (continuação).

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																										
RODOVIA: SC-416 ITAPOÁ			OPERADOR: Laboratório de Pavimentação da UFSC																							
TRECHO: Segmento monitorado 1			REVESTIMENTO TIPO: Asfalto-borracha e= 6cm.																							
DATA: 20/02/2016			ESTACA INICIAL 1185+00										ESTACA FINAL 1170+00					FAIXA		Esquerda						
Estaca	Seção Terrap	OK	TRINCAS										AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRL RODAS		Observação	
			ISOLADAS						INTERLIGADAS				PLÁSTICO		CONS.		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI (mm)	TRE (mm)		
			F1 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	FC-2		FC-3		ALP 4	ATP 4	ALC 4	ATC 4										
									J 2	TB 2	JE 3	TBE 3														
1183+12,5			x																						A=0,3x0,7m.	
1183+7,5			x																							A=0,2x3,6m.
1183+6,3			x																							A=0,4x0,7m.
1183+5,4			x																							A=0,5x1,5m.
1183+4,7			x																							A=0,4x0,6m.
1183+3,9			x																							A=0,6x1,6m.
1183+3,1									x																	A=0,8x1,6m.
1183+2,4			x																							A=0,4x0,7m.
1183+1,7			x																							A=0,3x0,4m.
1183+1,0									x																	A=0,7x0,8m.
1183+0,8			x																							A=0,6x1,1m.
1183+0,4			x																							A=0,5x0,4m.
1183+00			x																				12,0			A=0,2x3,3m.
1182+18,8			x																							A=0,5x0,2m.
1182+18,5			x																							A=0,2x0,2m.
1182+17,4			x																							A=0,2x1,2m.
1182+16,0			x																							0,3x1,3m.
1182+15,6			x																							A=0,2x0,9m.
1182+13,9			x																							A=0,2x1,5m.
1182+12,6			x																							A=0,3x0,2m.
1182+11,4			x																							A=0,4x1,2m.
1182+10,7			x																							A=0,2x0,2m.
1182+10,1			x																							A=0,4x0,2m.
1182+9,4			x																							A=0,5x0,2m.
1182+8,5			x																							A=0,2x0,2m.
1182+8,3			x																							A=0,5x0,2m.

Fonte: Elaboração própria.

Quadro B.23 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2016 – Faixa Esquerda (continuação).

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																										
RODOVIA: SC-416 ITAPOÁ			OPERADOR: Laboratório de Pavimentação da UFSC																							
TRECHO: Segmento monitorado 1			REVESTIMENTO TIPO: Asfalto-borracha e= 6cm.																							
DATA: 20/02/2016			ESTACA INICIAL 1185+00 ESTACA FINAL 1170+00										FAIXA		Esquerda											
Estaca	Seção Terrap	OK	TRINCAS										AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRI RODAS		Observação	
			ISOLADAS						INTERLIGADAS				PLÁSTICO		CONS.		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI (mm)	TRE (mm)		
			F1 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	FC-2		FC-3		ALP 4	ATP 4	ALC 4	ATC 4										
									J 2	TB 2	JE 3	TBE 3														
1182+6,2			x																						A=0,2x0,8m	
1182+3,1			x																							A=0,2x1,0m
1182+1,5			x																							A=0,2x0,2m
1182+1,2			x																							A=0,2x1,0m
1182+0,9			x																							A=0,3x0,2m
1182+00			x																					11,0		A=0,7x0,2m
1181+19,8			x																							A=0,2x0,2m
1181+18,1			x																							A=0,4x0,2m
1181+17,3			x																							A=0,2x1,9m
1181+16,1			x																							A=0,4x0,2m
1181+15,4			x																							A=0,2x1,0m
1181+15,2			x																							A=0,3x0,2m
1181+13,7			x																							A=0,3x1,3m
1181+12,6			x																							A=0,2x2,3m
1181+12,2			x																							A=0,6x0,2m
1181+10,8			x																							A=0,2x0,3m
1181+9,1			x																							A=0,2x1,0m
1181+8,6			x																							A=0,3x0,2m
1181+7,7			x																							A=0,2x2,3m
1181+6,5			x																							A=0,3x1,1m
1181+5,3			x																							A=0,4x0,2m
1181+4,2			x																							A=0,4x0,3m
1181+3,5			x																							A=0,2x0,2m
1181+2,3			x																							A=0,2x0,8m
1181+2,1			x																							A=0,2x0,2m
1181+00																									8,0	

Fonte: Elaboração própria.

Quadro B.24 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2016 – Faixa Esquerda (continuação).

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																										
RODOVIA: SC-416 ITAPOÁ			OPERADOR: Laboratório de Pavimentação da UFSC																							
TRECHO: Segmento monitorado 1			REVESTIMENTO TIPO: Asfalto-borracha e= 6cm.																							
DATA: 20/02/2016			ESTACA INICIAL 1185+00										ESTACA FINAL 1170+00					FAIXA		Esquerda						
Estaca	Seção Terrap	OK	TRINCAS								AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRL RODAS		Observação			
			ISOLADAS					INTERLIGADAS			PLÁSTICO		CONS.		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI (mm)	TRE (mm)				
			FI 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	FC-2		FC-3	ALP 4	ATP 4	ALC 4										ATC 4		
									J 2	TB 2	JE 3														TBE 3	
1180+18,5			x																						A=0,5x0,2m.	
1180+18,0			x																							A=0,2x0,2m.
1180+18,8			x																							A=0,3x0,2m.
1180+17,3			x																							A=0,2x0,7m.
1180+16,3			x																							A=0,2x0,4m.
1180+15,7			x																							A=0,3x0,2m.
1180+14,9			x																							A=0,4x0,2m.
1180+14,2			x																							A=0,2x0,3m.
1180+11,1			x																							A=0,7x1,5m.
1180+9,2			x																							A=0,5x0,8m.
1180+7,3			x																							A=0,6x1,3m.
1180+6,1			x																							A=0,3x0,2m.
1180+2,8			x																							A=0,3x0,8m.
1180+00																								7,0		
1179+7,6																		x								A=0,2x0,4m.
1179+00																								8,0		
1178+14,3			x																							A=0,4x0,6m.
1178+00																								6,5		
1177+13,4			x																							A=0,6x0,9m.
1177+12,6									x																	A=0,7x0,5m.
1177+11,5			x																							A=0,5x1,1m.
1177+10,4									x																	A=0,8x1,1m.
1177+9,9			x																							A=0,4x0,7m.
1177+9,7			x																							A=0,2x0,4m.
1177+8,6									x																	A=0,5x2,7m.
1177+8,0			x																							A=0,4x2,1m.

Fonte: Elaboração própria.

Quadro B.25 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2016 – Faixa Esquerda (continuação).

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																										
RODOVIA: SC-416 ITAPOÁ			OPERADOR: Laboratório de Pavimentação da UFSC																							
TRECHO: Segmento monitorado 1			REVESTIMENTO TIPO: Asfalto-borracha e= 6cm.																							
DATA: 20/02/2016			ESTACA INICIAL 1185+00										ESTACA FINAL 1170+00					FAIXA		Esquerda						
Estaca	Seção Terrap	OK	TRINCAS										AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRI RODAS		Observação	
			ISOLADAS						INTERLIGADAS				PLÁSTICO		CONS.		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI (mm)	TRE (mm)		
			F1 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	FC-2		FC-3		ALP 4	ATP 4	ALC 4	ATC 4										
									J 2	TB 2	JE 3	TBE 3														
1177+4,4			x																						A=0,6x2,4m	
1177+5,1											x															A=1,0x2,0m
1177+4,4			x																							A=0,4x0,4m
1177+0,5			x																							A=0,3x1,0m
1177+00																								7,0		
1176+00																								6,0		
1175+13,9			x																							A=0,2x0,5m
1175+10,8			x																							A=0,3x0,2m
1175+8,5			x																							A=0,2x1,5m
1175+6,0								x																		A=0,6x0,6m
1175+2,6			x																							A=0,4x3,1m
1175+00								x																4,5		A=0,7x0,7m
1175+19,1			x																							A=0,8x0,9m
1174+12,1											x															A=0,9x6,5m
1174+8,9			x																							A=0,5x0,3m
1174+00																								3,5		
1173+19,2			x																							A=0,2x0,8m
1173+15,9			x																							A=0,2x0,3m
1173+15,6			x																							A=0,5x0,5m
1173+5,7			x																							A=0,6x1,2m
1173+5,6			x																							A=0,4x0,7m
1173+4,0								x																		A=0,8x2,1m
1173+2,2			x																							A=0,2x0,4m
1173+2,1											x															A=1,3x1,9m
1173+2,0			x																							A=1,5x3,8m
1173+1,5								x																		A=0,5x1,1m

Fonte: Elaboração própria.

Quadro B.26 – Inventário do estado da superfície do pavimento 2016 – Faixa Esquerda (continuação).

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																											
RODOVIA: SC-416 ITAPOÁ						OPERADOR: Laboratório de Pavimentação da UFSC																					
TRECHO: Segmento monitorado 1						REVESTIMENTO TIPO: Asfalto-borracha e= 6cm.																					
DATA: 20/02/2016						ESTACA INICIAL 1185+00				ESTACA FINAL 1170+00				FAIXA				Esquerda									
Estaca	Seção Terrap	OK	TRINCAS							AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRI. RODAS		Observação					
			ISOLADAS					INTERLIGADAS				PLÁSTICO		CONS.		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8		TRI (mm)	TRE (mm)			
			F1 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	FC-2		FC-3		ALP 4	ATP 4	ALC 4										ATC 4		
									J 2	TB 2	JE 3	TBE 3															
1173+0,3			x																								A=1,1x1,5m
1173+00			x																						4,5		A=0,4x1,4m
1172+19,6			x																								A=0,2x0,3m
1172+15,5			x																								A=0,5x0,6m
1172+14,5				x																							A=0,3x0,2m
1172+9,3				x																							A=0,2x0,3m
1172+8,9				x																							A=0,4x0,2m
1172+8,3				x																							A=0,2x0,4m
1172+7,8				x																							A=0,4x0,2m
1172+7,6				x																							A=0,3x0,2m
1172+6,6						x																					A=0,6x1,0m
1172+3,8			x																								A=0,7x1,6m
1172+0,7			x																								A=1,2x2,4m
1172+00																									8,0		
1172+00											x																A=0,7x1,2m
1171+19,0			x																								A=0,3x0,9m
1171+18,0			x																								A=0,3x0,4m
1171+17,0											x																A=1,2x3,0m
1171+16,0										x																	A=1,0x1,5m
1171+14,7			x																								A=0,5x1,3m
1171+11,9			x																								A=0,2x0,4m
1171+8,1			x																								A=0,2x0,2m
1171+00																									6,0		
1170+10,5			x																								A=0,2x0,5m
1170+10,1			x																								A=0,3x0,7m
1170+7,1			x																								A=0,5x0,8m
1170+4,4			x																								A=0,5x4,2m
1170+4,0			x																								A=0,5x2,7m
1170+00			x																								A=0,5x1,7m
1170+00			x																						4,0		A=0,2x0,6m

Fonte: Elaboração própria.

B.2.2 Avaliação objetiva da superfície pela determinação do IGG

Quadro B.27 – Planilha do cálculo do IGG (2012) – segmento monitorado Itapoá – Faixa Direita.

PLANILLA DO CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL-IGG (DNIT 006/2003-PRO)										
Rodovia: SC-416 ITAPOÁ			Revestimento: Asfalto-borracha e= 6cm.						Ano 2012	
Trecho: Segmento Monitorado 1			Estacas: 1185+00 - 1170+00							
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO		Frequência Absoluta	Frequência relativa		Fator de ponderação			Índice de gravidade individual	Obs.
1	(FC-1) TTC, TTL, TLC, TLL, TRR		0	0,00		0,2			0,00	
2	(FC-2), J, TB		1	12,50		0,5			6,25	
3	(FC-3), JE, TBE		0	0,00		0,8			0,00	
4	ALP/ATP-ALC/ATC		0	0,00		0,9			0,00	
5	O, P		0	0,00		1			0,00	
6	Ex		0	0,00		0,5			0,00	
7	D		0	0,00		0,3			0,00	
8	R		0	0,00		0,6			0,00	
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE		TRI= 0,56	TRE= 0,5625	F= 0,563	1A	1,3333	0,75		
						1B				
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas		TRIV= 0,40	TREV= 0,40	FV= 0,396	2A	1	0,40		
						2B				
N° TOTAL DE ESTAÇÕES			8	1A) IGI=Fx4/3 quando F≤30			1B) IGI=40 quando F>30			
ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL = IGG			7,00	2A) IGI = FV quando F≤50			2B) IGI=50 quando FV>50			
CONCEITO			Ótimo							

Fonte: Elaboração própria.

Quadro B.28 – Planilha do cálculo do IGG (2012) – segmento monitorado Itapoá – Faixa Esquerda.

PLANILLA DO CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL-IGG (DNIT 006/2003-PRO)											
Rodovia: SC-416 ITAPOÁ				Revestimento: Asfalto-borracha e=6cm.					Ano 2012		
Trecho: Segmento Monitorado 1				Estacas: 1185+00 - 1170+00							
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO	Frequência Absoluta	Frequência relativa	Fator de ponderação			Índice de gravidade individual	Obs.			
1	(FC-1) TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	1	12,50	0,2			2,50				
2	(FC-2), J, TB	1	12,50	0,5			6,25				
3	(FC-3), JE, TBE	0	0,00	0,8			0,00				
4	ALP/ATP-ALC/ATC	0	0,00	0,9			0,00				
5	O, P	0	0,00	1			0,00				
6	Ex	0	0,00	0,5			0,00				
7	D	0	0,00	0,3			0,00				
8	R	0	0,00	0,6			0,00				
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE	TRI=	0,94	TRE=	0,938	F=	0,938	1A	1,3333	1,25	
								1B			
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TRIV=	0,60	TREV=	0,60	FV=	0,596	2A	1	0,60	
								2B			
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		8		1A) IGI=Fx4/3 quando F≤30				1B) IGI=40 quando F>30			
ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL = IGG		11,00		2A) IGI = FV quando F≤50				2B) IGI=50 quando FV>50			
CONCEITO		Ótimo									

Fonte: Elaboração própria.

Quadro B.29 – Planilha do cálculo do IGG (2015) – segmento monitorado Itapoá – Faixa Direita.

PLANILHA DO CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL-IGG (DNIT 006/2003-PRO)										
Rodovia: SC-416 ITAPOÁ				Revestimento: Asfalto-borracha e= 6cm.					Ano 2015	
Trecho: Segmento Monitorado 1				Estacas: 1170+00 - 1185+00						
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO	Frequência Absoluta		Frequência relativa		Fator de ponderação			Índice de gravidade individual	Obs.
1	(FC-1) TTC, TTL, TLC, TLL,TRR	5		62,50		0,2			12,50	
2	(FC-2), J, TB	2		25,00		0,5			12,50	
3	(FC-3), JE, TBE	0		0,00		0,8			0,00	
4	ALP/ATP-ALC/ATC	0		0,00		0,9			0,00	
5	O, P	0		0,00		1			0,00	
6	Ex	0		0,00		0,5			0,00	
7	D	1		12,50		0,3			3,75	
8	R	0		0,00		0,6			0,00	
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE	TRI=	4,94	TRE=	4,938	F=	4,938	1A	1,333	6,58
								1B		
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TRIV=	5,80	TREv=	5,80	FV=	5,796	2A	1	5,80
								2B		
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		8		1A) IGI=Fx4/3 quando F≤30				1B) IGI=40 quando F>30		
ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL = IGG		41,00		2A) IGI = FV quando F≤50				2B) IGI=50 quando FV>50		
CONCEITO			Regular							

Fonte: Elaboração própria.

Quadro B.30 – Planilha do cálculo do IGG (2015) – segmento monitorado Itapoá – Faixa Esquerda.

PLANILHA DO CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL-IGG (DNIT 006/2003-PRO)										
Rodovia: SC-416 ITAPOÁ				Revestimento: Asfalto-borracha e= 6cm.				Ano 2015		
Trecho: Segmento Monitorado 1				Estacas: 1185+00 - 1170+00						
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO	Frequência Absoluta		Frequência relativa		Fator de ponderação			Índice de gravidade individual	Obs.
1	(FC-1) TTC, TTL, TLC, TLL,TRR	5		62,50		0,2			12,50	
2	(FC-2), J, TB	1		12,50		0,5			6,25	
3	(FC-3), JE, TBE	3		37,50		0,8			30,00	
4	ALP/ATP-ALC/ATC	0		0,00		0,9			0,00	
5	O, P	0		0,00		1			0,00	
6	Ex	0		0,00		0,5			0,00	
7	D	0		0,00		0,3			0,00	
8	R	0		0,00		0,6			0,00	
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE	TRI=	3,38	TRE=	3,38	F=	3,375	1A	1,333	4,50
								1B		
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TRIV=	3,85	TREv=	3,85	FV=	3,850	2A	1	3,85
								2B		
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		8		1A) IGI=Fx4/3 quando F≤30				1B) IGI=40 quando F>30		
ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL = IGG		57,00		2A) IGI = FV quando F≤50				2B) IGI=50 quando FV>50		
CONCEITO		Regular								

Fonte: Elaboração própria.

Quadro B.31 – Planilha do cálculo do IGG (2016) – segmento monitorado Itapoá – Faixa Direita.

PLANILHA DO CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL-IGG (DNIT 006/2003-PRO)												
Rodovia: SC-416 ITAPOÁ			Revestimento: Asfalto-borracha e= 6cm								Ano	
Trecho: Segmento Monitorado 1			Estacas: 1170+00 - 1185+00								2016	
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO		Frequência Absoluta	Frequência relativa		Fator de ponderação			Índice de gravidade individual		Obs.	
1	(FC-1) TTC, TTL, TLC, TLL,TRR		3	37,50		0,2			7,50			
2	(FC-2), J, TB		2	25,00		0,5			12,50			
3	(FC-3), JE, TBE		2	25,00		0,8			20,00			
4	ALP/ATP-ALC/ATC		0	0,00		0,9			0,00			
5	O, P		0	0,00		1			0,00			
6	Ex		0	0,00		0,5			0,00			
7	D		1	12,50		0,3			3,75			
8	R		0	0,00		0,6			0,00			
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE		TRI= 6,41	TRE= 6,406	F= 6,406	1A	1,333	8,54				
						1B						
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas		TRIV= 8,64	TREv= 8,641	FV= 8,641	2A	1	8,64				
						2B						
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES			8	1A) IGI=Fx4/3 quando F≤30			1B) IGI=40 quando F>30					
ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL = IGG			61,00	2A) IGI = FV quando F≤50			2B) IGI=50 quando FV>50					
CONCEITO			Regular									

Fonte: Elaboração própria.

Quadro B.32 – Planilha do cálculo do IGG (2016) – segmento monitorado Itapoá – Faixa Esquerda.

PLANILHA DO CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL-IGG (DNIT 006/2003-PRO)												
Rodovia: SC-416 ITAPOÁ				Revestimento: Asfalto-borracha e= 6c						Ano		
Trecho: Segmento Monitorado 1				Estacas: 1185+00 - 1170+00						2016		
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO		Frequência Absoluta		Frequência relativa		Fator de ponderação			Índice de gravidade individual		Obs.
1	(FC-1) TTC, TTL, TLC, TLL,TRR		6		75,00		0,2			15,00		
2	(FC-2), J, TB		1		12,50		0,5			6,25		
3	(FC-3), JE, TBE		2		25,00		0,8			20,00		
4	ALP/ATP-ALC/ATC		0		0,00		0,9			0,00		
5	O, P		1		12,50		1			12,50		
6	Ex		0		0,00		0,5			0,00		
7	D		0		0,00		0,3			0,00		
8	R		0		0,00		0,6			0,00		
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE		TRI=	6,88	TRE=	6,9	F=	6,875	1A	1,333	9,17	
									1B			
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas		TRIV=	5,32	TREv=	5,317	FV=	5,31667	2A	1	5,32	
									2B			
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES			8		1A) IGI=Fx4/3 quando F≤30				1B) IGI=40 quando F>30			
ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL = IGG			68,00		2A) IGI = FV quando F≤50				2B) IGI=50 quando FV>50			
CONCEITO			Regular									

Fonte: Elaboração própria.

B.2.3 Afundamento de trilha de roda

Quadro B.33 – Resultado das medições de trilha de roda.

ESTACA	Afundamento de trilha de roda (mm)							
	2012-UFSC (Treliza)		2014-COPPE (Laser)		2015-UFSC (Treliza)		2016-UFSC (Treliza)	
	Faixa Direita	Faixa Esquerda	Faixa Direita	Faixa Esquerda	Faixa Direita	Faixa Esquerda	Faixa Direita	Faixa Esquerda
1170	0,0	0,0	3,3	1,9	9,0	2,0	11,5	4,0
1171	0,0	2,0	0,5	1,7	7,0	3,0	8,5	6,0
1172	0,0	2,0	0,2	0,7	3,0	3,0	3,5	8,0
1173	1,0	2,0	0,6	0,6	4,0	4,0	6,5	4,5
1174	2,0	1,0	0,1	1,0	3,0	1,0	4,5	3,5
1175	1,0	1,0	1,2	1,3	5,0	1,0	5,0	4,5
1176	0,0	0,0	0,6	2,8	3,0	1,0	3,5	6,0
1177	0,0	0,0	1,6	1,7	2,0	3,0	2,5	7,0
1178	1,0	1,0	1,9	1,5	4,0	3,0	4,5	6,5
1179	0,0	1,0	0,8	1,7	2,0	3,0	4,0	8,0
1180	0,0	0,0	1,0	0,4	4,0	3,0	6,0	7,0
1181	1,0	1,0	1,9	1,2	6,0	5,0	8,0	8,0
1182	0,0	2,0	2,0	2,0	7,0	7,0	10,0	11,0
1183	1,0	1,0	4,3	1,4	9,0	8,0	11,0	12,0
1184	1,0	0,0	1,1	2,0	8,0	3,0	9,5	7,0
1185	1,0	1,0	0,6	4,2	3,0	4,0	4,0	7,0
Média (mm)	0,56	0,94	1,36	1,63	4,94	3,38	6,41	6,88
S.V. (mm)	0,63	0,77	1,14	0,91	2,41	1,96	2,94	2,31

Fonte: Elaboração própria.

B.2.4 Irregularidade longitudinal (IRI)

Quadro B.34 – Resultado da medição da irregularidade longitudinal (2014).

ESTACA	IRI (m/km)	
	Faixa Direita	Faixa Esquerda
1170	3,35	1,99
1171	3,41	1,92
1172	1,98	1,33
1173	1,58	1,14
1174	2,51	1,67
1175	2,08	2,28
1176	1,52	1,86
1177	3,13	1,20
1178	2,61	1,19
1179	1,88	1,39
1180	1,86	3,33
1181	1,44	1,72
1182	2,09	2,08
1183	4,29	2,27
1184	1,55	1,33
1185	2,11	2,58

Fonte: Elaboração própria.

B.2.5 Macrotextura e microtextura

Quadro B.35 – Resultado da medição da macrotextura e microtextura.

Macrotextura						Microtextura		
HS (mm)						VRD		
2014			2015			2015		
Estaca	Faixa Direita	Faixa Esquerda	Estaca	Faixa Direita	Faixa Esquerda	Estaca	Faixa Direita	Faixa Esquerda
1175	0,49	0,59	1170	0,41	0,54	1170	61,5	59
1180	0,53	0,54	1173	0,45	0,51	1173	64,50	61,25
1185	0,48	0,48	1176	0,45	0,45	1176	59,75	63,5
1190	0,44	0,44	1179	0,48	0,54	1179	60,00	64,75
			1182	0,47	0,50	1182	58,50	67,25
						1185	59,25	64,5

Fonte: Elaboração própria.

Quadro B.36 – Resultado da medições com o *Grip Tester* (2014)

Estaca	Faixa direita		Faixa esquerda	
	GN	Velocidade (km/h)	GN	Velocidade (km/h)
1170	0,65	22	0,55	23
1171	0,63	23	0,56	24
1172	0,67	23	0,55	24
1173	0,63	24	0,57	24
1174	0,64	25	0,54	23
1175	0,63	25	0,49	23
1176	0,63	24	0,5	23
1177	0,7	24	0,5	23
1178	0,69	24	0,5	24
1179	0,68	24	0,57	24
1180	0,67	24	0,57	25
1181	0,63	24	0,57	25
1182	0,64	24	0,52	26
1183	0,63	24	0,52	27
1184	0,66	24	0,54	25
1185	0,67	24	0,53	23

Fonte: Elaboração própria.

ANEXO B.3

Avaliação Estrutural

B.3.1 Medida de deflexões

Quadro B.37 – Resultado das medidas de deflexão.

ESTACA	Deflexões (0,01 mm)					
	Viga Benkelman		FWD sem nenhuma correção		FWD corrigida por temperatura e transformado a deflexão de viga Benkelman	
	Deflexão dezembro 2011		Deflexão março 2014		Deflexão março 2014	
	Faixa Direita	Faixa Esquerda	Faixa Direita	Faixa Esquerda	Faixa Direita	Faixa Esquerda
1170	48,3	52,5	43,0	37,9	47,7	40,6
1171	51,7	50,0	38,3	37,0	41,9	39,9
1172	54,2	57,6	31,6	39,0	34,6	42,0
1173	62,5	60,2	45,5	38,8	49,5	41,6
1174	62,5	69,1	47,9	51,2	52,1	54,6
1175	68,3	64,0	54,3	60,6	58,8	64,6
1176	60,8	65,9	48,6	50,7	52,9	54,1
1177	54,2	50,6	42,6	46,2	46,3	49,5
1178	50,0	64,0	56,8	50,6	61,8	54,0
1179	62,5	62,1	51,3	53,1	55,8	56,6
1180	52,5	67,8	41,5	41,2	45,2	43,9
1181	69,2	57,6	54,7	55,2	59,2	59,2
1182	65,0	59,5	60,6	58,1	65,6	62,3
1183	65,8	64,0	54,1	53,5	58,3	57,3
1184	56,7	67,8	58,4	53,2	62,9	57,0
1185	65,0	65,2	47,0	52,5	50,6	56,3

Fonte: Elaboração própria.